

inspect

WORLD OF VISION

23. JAHRGANG
FEBRUAR 2022

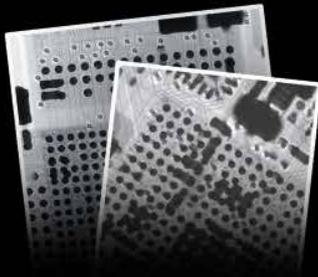
1

www.WileyIndustryNews.com

ximea

SCHWERPUNKT

Deep Learning



TITELSTORY

Flexible Systemintegration
durch abgesetzte Sensorköpfe



Vision

Hintergrundbeleuchtung
mit schwarzem Diffusor
S. 16

Vision

Contact-Imaging-
Sensoren zur
Inspektion von Tuben
S. 18

Automation

Pick-and-Place-System
für italienisches Porzellan
S. 36



emva

european machine vision association

EMVA Business Conference 2022

20th European Machine Vision
Business Conference
May 12th – 14th, 2022
Brussels, Belgium

International platform
for networking
and business intelligence.
Where machine
vision business leaders meet.

www.business-conference-emva.org
www.emva.org



GOLDEN SPONSOR


Xenics
Infrared Solutions

PLATINUM SPONSOR


VISION

Der Maschinenbau widersetzt sich der Politik – er wächst



Es geht wieder aufwärts: Für das Jahr 2021 meldet der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau ein Plus im Auftragseingang von 32 Prozent. In Verbindung mit dem prognostizierten Umsatzwachstum von gut vier Prozent auf dann 205 Milliarden Euro im Jahr 2022 haben wir die Corona-bedingte Krise so gut wie überwunden. Endlich. Zumal es für die Bildverarbeitungsbranche stets noch ein gutes Stück steiler bergauf geht als für den Rest des Maschinenbaus.

Leider ist es dann allerdings doch nicht so einfach. Zwar belegt der deutlich gestiegene Bestellumfang einen großen Optimismus seitens des verarbeitenden Gewerbes. Jedoch muss dieses erstmal Recht damit haben. Denn die Unsicherheitsfaktoren bleiben dieselben (Rohstoffmangel, Logistikprobleme, Corona...). Und niemand weiß, ob in diesem Jahr wirklich alles besser wird als im vergangenen. Die Älteren unter uns erinnern sich noch an 2020, als alle dachten, das darauf folgende Jahr werde der Oberhammer – und dann kam 2021.

Ebenfalls essenziell für die wirtschaftliche Erholung ist der Rahmen, den die Politik vorgibt. Wenn ich mir da die seit zwei Jahren (in Sachen Corona) irrlichen EntscheiderInnen so anschau, fällt es mir schwer, an einen kräftigen Aufwärtstrend zu glauben.

Denn die Politik ignoriert die grundlegende und sehr simple Tatsache, dass es für ein Unternehmen nichts Schlimmeres als Unsicherheit gibt. Nicht umsonst fordern Wirtschaftsverbände in Dauerschleife verlässliche Rahmenbedingungen. Was macht aber die Politik? Bundländerkonferenzen, auf denen im besten Fall(!) wachswenige Beschlüsse gefasst werden, von denen nach wenigen Minuten schon die ersten MinisterpräsidentInnen abweichen. Das ist absurd.

Das Ende vom Lied ist dann, dass niemand mehr weiß, was gerade eigentlich gilt – und man sich eben durchwurstelt. Hier im Dreiländereck zwischen Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen kommen diese Absurditäten des Föderalismus besonders gut zur Geltung. Ständig steht man vor einem Laden und fragt sich: „Brauche ich im hessischen Klamottenladen jetzt einen Impfnachweis, muss ich in Rheinland-Pfalz im Supermarkt eine FFP2-Maske tragen und welche Regeln genau hat Ministerpräsident Kretschmann denn gestern wieder wie ändern lassen?“ Dazu kommt, dass die Einhaltung der Regeln von staatlicher Stelle praktisch nicht kontrolliert wird. So will Geschäft A zum Impfnachweis auch den Perso sehen. Bei Geschäft B gehe ich völlig unbehelligt durch, ob geimpft oder nicht. Auf diese Weise können wir das Spielchen „Corona-Regeln“ noch unendlich lange spielen.

Viel Spaß beim Lesen der aktuellen Ausgabe.

David Löh
Chefredakteur der inspect

25 Megapixel 10GigE Camera

VC-25M10G

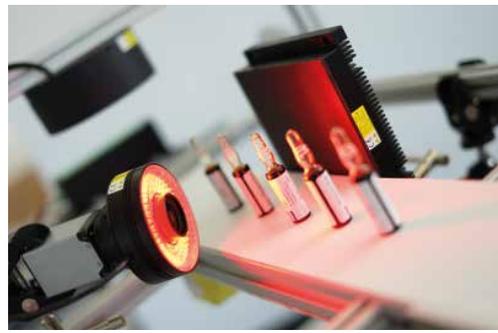


10 GIG E
VISION

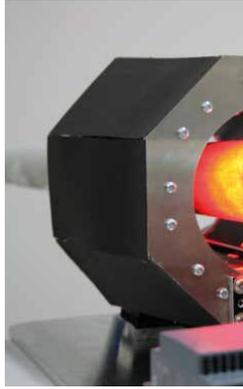
- 10GigE Interface
- 25 Megapixel Resolution
- Up to 41.7 fps
- Supports PoE+
- For FPD, PCB, Semiconductor Inspection



ximea



16 Schwarzer Diffusor für Hintergrundbeleuchtungen



8 **Titelstory:** Buchstäblich coole Sensoren für coole Projekte



Nutzen Sie unser kostenfreies ePaper!

WWW.WILEYINDUSTRYNEWS.COM/PRINTAUSGABE

Inhalt

Topics

- 3 **Editorial**
Der Maschinenbau widersetzt sich der Politik – er wächst
David Löh
- 50 **Index / Impressum**

Titelstory

- 8 **Buchstäblich coole Sensoren für coole Projekte**
Industriekameras mit abgesetztem Sensorkopf für gleichbleibend hohe Übertragungsraten
Jürgen Hillmann

Märkte & Management

- 6 **News**

Basics

- 12 **Grundlagen der photothermischen Schichtdickenmessung**
Physikalische Funktionsweise der Alternative zu Wirbelstrom und Ultraschall
Stefan Böttger

Vision

- 15 **Produkte**
- 16 **Schwarzer Diffusor für Hintergrundbeleuchtungen**
LED-Beleuchtung in Pharmaanwendung
Deborah Schmoll
- 18 **CIS-Systeme für die optische Qualitätskontrolle von innen und von außen**
Qualitätssicherung von Tuben, Rohren und Profilen
Nikolaus Tichawa
- 20 **Kalibrieren des ISP für eine höhere Bildqualität**
Tuning des Signalprozessors für bessere Aufnahmen
Prashant Metha

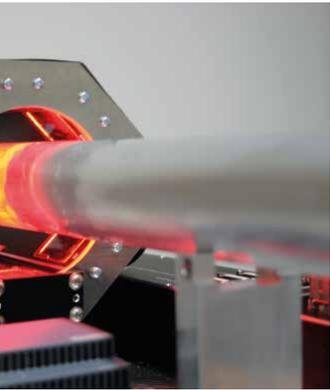
SCHWERPUNKT DEEP LEARNING

- 22 **Software macht KI-Entscheidungen erklärbar**
Qualität eines neuronalen Netzes bestimmen und verstehen
Heiko Seitz
- 25 **Produkte**
- 26 **Deep Learning für Inspektion auch ohne KI-Experten nutzen**
Schlüsselartige KI-Lösung für Einsteiger
Chris Aden, Paul Kozik
- 28 **Erkennungsergebnisse von Deep-Learning verbessern**
Labeling in Deep-Learning-basierten Machine-Vision-Anwendungen
Christian Eckstein

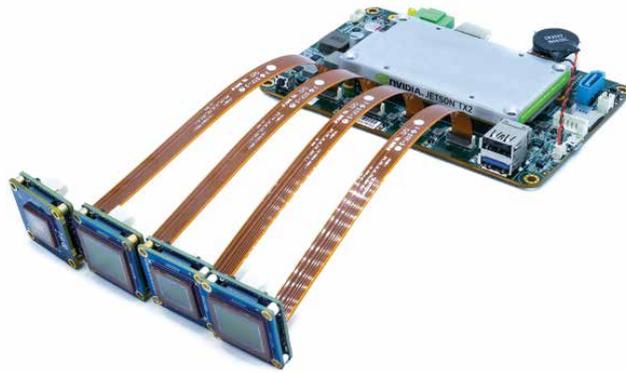
- 30 **Beleuchtung beeinflusst Deep-Learning-Anwendungen erheblich**
Beleuchtung verbessert die Qualität der Bilddaten für neuronale Netze
Steve Kinney
- 33 **Produkte**
- 34 **Schnell zum Embedded-Vision-System mit Deep Learning**
Trägerplatine integriert Nvidia Jetson und vier USB3-Kameras
Riana Sartori

Automation

- 36 **Kostensparnis durch automatisiertes Handling von Porzellangeschirr**
3D-basiertes robotergestütztes Pick-and-Place-System
Katia Ostrowski
- 38 **Stationäre Barcodeleser sorgen für einen optimalen Materialfluss**
Intralogsistikprozesse verbessern
Rudolf Schambeck
- 40 **Perfekte Falzqualität durch Bildverarbeitung**
Optisches Falzqualitätskontrollsystem in der Druckerei
Astrid Sommerkamp
- 42 **Software verknüpft PLM mit aktuellen Messdaten**
PLM-Konnektoren für Polyworks Dataloop
- 43 **Produkte**



18 CIS-Systeme für die optische Qualitätskontrolle von innen und von außen



34 Schnell zum Embedded-Vision-System mit Deep Learning



46 Inspektion von 150 Park-sensoren pro Minute

Control

44 Gleichzeitig Oberflächenfehler und Maßhaltigkeit von Gummidichtungen prüfen
 Profilprüfsystem in der Automobil-industrie
 Heike Freimann

46 Inspektion von 150 Park-sensoren pro Minute
 Schichtdickenmessung bei lackier-ten PDC-Sensoren für Autos

49 Produkte

Partner von:



Willkommen im Wissenszeitalter. Wiley pflegt seine 200-jährige Tradition durch Partnerschaften mit Universitäten, Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Gesellschaften und Einzelpersonen, um digitale Inhalte, Lernmittel, Prüfungs- und Zertifizierungsmittel zu entwickeln. Wir werden weiterhin Anteil nehmen an den Herausforderungen der Zukunft – und Ihnen die Hilfestellungen liefern, die Sie bei Ihren Aufgaben weiterbringen. Die inspect ist ein wichtiger Teil davon.

WILEY



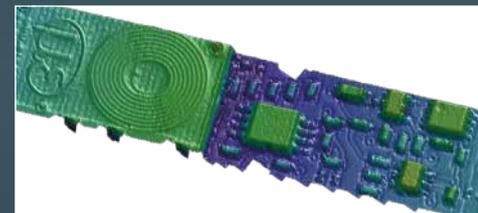
z-precision bis zu 0,4 µm

NEU

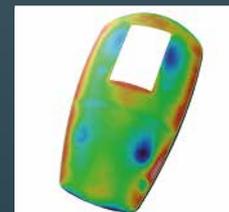
surface**CONTROL 3D 3500**

Die neue Generation der hochpräzisen Inline 3D-Messung

- Automatisierte Inline-3D-Messung zur Geometrie-, Form- & Oberflächenprüfung
- Höchste Präzision bis zu < 0,4 µm
- Bis zu 2,2 Mio. 3D-Punkte / Sekunde
- Einfache Integration in alle gängigen 3D-Bildverarbeitungspakete
- Leistungsstarke 3D-Software



Ebenheitsprüfung elektronischer Komponenten



Defekterkennung



Detektion feinsten Strukturen

Kontaktieren Sie unsere Applikationsingenieure:
 Tel. +49 8542 1680

micro-epsilon.de/3D



Bild: Congatec

Von links: Gerhard Edi CSO, Daniel Jürgens CFO, Dr. Dirk Haft CEO, Konrad Garhammer CTO, Thomas Schultze COO.

Congatec stellt Top-Management um

Congatec gibt mit Dirk Haft als CEO und Daniel Jürgens als CFO ein neues Führungsteam bekannt. Gerhard Edi, bislang CTO, wird zudem die neu geschaffene Position des CSO (Chief Strategy Officer) übernehmen. Auf die Position des CTO rückt Konrad Garhammer auf, der bislang als globaler Director Engineering agierte. Ziel des neu aufgestellten Führungsteams ist es, die Internationalisierung zu beschleunigen, die Lieferketten noch zuverlässiger und effizienter zu gestalten und weiteres Wachstum in neuen Märkten, wie der funktionalen Sicherheit und kritischen Infrastrukturen, zu generieren. Das erfordert von Congatec im Bereich der Software und der Fertigung neue Kompetenzen aufzubauen.

www.congatec.com

Z-Laser bestellt neuen Geschäftsführer

Kiran Ramakrishnan heißt der neue CEO bei Z-Laser. Er folgt auf Hans Ebinger, der das Unternehmen seit 2018 geführt hat. Ramakrishnan (50) verfügt über mehr als 25 Jahre Erfahrung in leitenden Positionen bei Global Playern der Halbleiterindustrie. Der Diplomingenieur kam im Frühjahr 2021 zu Z-Laser, um die Vertriebs- und Marketingaktivitäten auf ein internationales Niveau zu heben. Als die Position des CEO neu besetzt werden musste,



Bild: Z-Laser

Hans Ebinger (l.) und Kiran Ramakrishnan

war er der Wunschkandidat sowohl des Management-Teams als auch der Exaktera-Gruppe, zu der Z-Laser gehört. Um die Kontinuität des Betriebs zu gewährleisten, fand ein Übergabeprogramm statt.

www.z-laser.com



Bild: MVTec

MVTec feiert 25-jähriges Jubiläum

25 Jahre alt wird MVTec, Spezialist für Software der industriellen Bildverarbeitung. Dieses Jubiläum will das Münchener Unternehmen das ganze Jahr 2022 feiern.

MVTec wurde im Jahr 1996 als Spin-off der Technischen Universität München und des Bayerischen Forschungszentrums für wissenschaftliche Systeme (FORWISS) gegründet. „In den vergangenen 25 Jahren haben wir es geschafft, schneller als der Markt zu wachsen. Dadurch konnten wir unsere Unabhängigkeit bewahren und stellen damit gleichzeitig sicher, dass wir auch weiterhin intensiv an neuen Technologien für unsere Kunden forschen können“, kommentiert Olaf Munkelt, Geschäftsführer und einer der drei Gründer von MVTec Software.

www.mvtec.com

Statmath wird zu 100 Prozent Tochter von IFM Solutions

Seit dem 1. Januar 2019 gehört die Statmath GmbH bereits zur IFM-Unternehmensgruppe. Nun wird aus der Mehrheitsbeteiligung durch die IFM Solutions GmbH eine 100-Prozent-Beteiligung. Seit der Gründung im



Bild: IFM

Jahr 2011 beschäftigt sich Statmath mit großen Datenmengen und dem daraus zu generierenden Nutzen. Das Team mit 26 Mitarbeitenden aus den Bereichen Mathematik, Data Science, Physik und Informatik bildet die Grundlage des Unternehmens, welches weiterhin von ihren beiden Gründern Alexander Hoffmann und Christian Friedrich geführt wird. "Wir freuen uns sehr auf die weitere Unterstützung von Statmath, um weiterhin Softwaremodule und intelligente Lösungen zum Produktportfolio beitragen zu können", so Joachim Theusner, Geschäftsführer Technik von IFM Solutions. Die einfache Nutzbarkeit der Apps in der Moneo-Plattform stellt dabei einen Meilenstein in der Automatisierungswelt dar und soll im IFM-Angebot ein weiteres Differenzierungsmerkmal gegenüber dem Wettbewerb werden.

www.ifm.com

Basler tritt 5G-Allianz bei

IT und OT zusammenbringen, das ist das Ziel von Kamerahersteller Basler mit dem Beitritt zur "5G Alliance for Connected Industries and Automation" (5G-ACIA). Sie will verschiedene Branchen aus den Bereichen Information Technology (IT) und Operational Technology (OT) zusammenbringen und unter anderem Standards für 5G im industriellen Bereich erarbeiten. Das soll die technologische Weiterentwicklung fördern.

www.baslerweb.com

SPS zwei Wochen vorverlegt

Die SPS wird in diesem Jahr vom 8. bis 10. November in Nürnberg stattfinden und somit zwei Wochen früher als in den vergangenen Jahren. Dies gebe der gesamten Branche in Zeiten der Pandemie eine entsprechende Planungssicherheit für die führende Fachmesse für smarte und digitale Automation, meldet der Veranstalter Mesago. Das Konzept für die SPS 2022 wird in Kürze auf der Veranstaltungswebseite veröffentlicht.

www.mesago.de



Bild: Deutsche Messe

Hannover Messe 2022 findet Ende Mai statt

Die Hannover Messe wird 2022 vom 30. Mai bis zum 2. Juni stattfinden und nicht wie bisher geplant im April. Die Terminverschiebung auf Anfang Juni 2022 erfolgte in enger Abstimmung mit dem Ausstellerbeirat der Hannover Messe sowie den Partnerverbänden VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) und ZVEI (Verband Elektro- und Digitalindustrie). Die Hannover Messe soll im Juni die weltweit erste große Industriemesse sein und mit den Schwerpunktthemen Digitalisierung und Nachhaltigkeit klare Impulse für eine innovative, effiziente Produktion und Klimaschutz setzen. Aufgrund der hohen Auslastung des Messegeländes in Hannover mit zahlreichen Veranstaltungen im Frühsommer muss die Weltleitmesse der Industrie in diesem Jahr auf vier Tage verkürzt werden. In Jahr 2023 findet die Hannover Messe wieder wie gewohnt an fünf Tagen im April statt.

www.messe.de



Bild: Trioptics.

V.l.: Kristin Holzhey, Simon Zilian, Dr. Stefan Krey, Jörn Lühje, Eugen Dumitrescu

Wechsel im Management Board bei Trioptics

Anfang April verlässt Eugen Dumitrescu nach 30 Jahren die Geschäftsführung bei Trioptics und übergibt die Verantwortung an eine neue, erweiterte Geschäftsführung. Neben den bereits bestellten Geschäftsführern Stefan Krey (CTO) und Jörn Lühje (CFO) komplettieren jetzt Kristin Holzhey (CEO) und Simon Zilian (CSO) die Geschäftsführung bei Trioptics. Dumitrescu, der das Unternehmen 1991 gründete, wird bis Ende März als Geschäftsführer und anschließend als Beirat dem Unternehmen erhalten bleiben.

Trioptics gehört seit September 2019 zum Jenoptik-Konzern mit Hauptsitz in Jena. Kristin Holzhey, seit 2007 bei Jenoptik, wird die Geschicke des Spezialisten für optische Mess- und Fertigungstechnik hauptverantwortlich leiten. Nach ihrer Ausbildung zur Industriekauffrau bei Jenoptik und dem abgeschlossenen MBA-Studium in General Management in Großbritannien folgten verschiedene Stationen bei der Jenoptik-Gruppe unter anderem als Referentin des Vorstandsvorsitzenden. Seit 2019 ist Holzhey Geschäftsführerin bei Otto Vision Technology und seit 2020 leitet sie die Integration der Trioptics-Gruppe in den Jenoptik-Konzern. Seit Anfang des Jahres verantwortet Holzhey als Vice President die strategische Business Unit "Optical Test & Measurement" bei Jenoptik und ist Vorsitzende der Geschäftsführung von Trioptics.

Ebenfalls neu in der Geschäftsführung ist Simon Zilian, der seit 2005 bei Trioptics beschäftigt ist und das Unternehmen in den letzten 16 Jahren auf seinem Wachstumskurs begleitet hat. Nach seinem Studienabschluss in Physikalischer Technik (FH) und ersten beruflichen Erfahrung bei Euro-laser wechselte er zunächst als Vertriebsingenieur zu Trioptics, zu dessen Vertriebsleiter er 2009 ernannt wurde. Seit 2019 ist Zilian Mitglied der Geschäftsführung. Er verantwortet als CSO ab sofort maßgeblich die Bereiche Sales, Marketing, Service und Customer Care der Trioptics-Gruppe.

www.trioptics.com

EMVA und Khronos entwickeln eine offene, lizenzgebührenfreie Kamera-API

Die European Machine Vision Association (EMVA) und die Khronos-Group haben eine Khronos-Arbeitsgruppe gegründet, die einen offenen, lizenzfreien API-Standard für die Steuerung von Kamerasystem-Run-times in den Bereichen Embedded, Mobile, Industrie, XR, Automotive und Wissenschaft entwickeln soll. Jetzt rufen Sie alle Khronos-Mitglieder zur Mitarbeit auf. Über 70 Unternehmen nahmen im Jahr 2021 an einer von EMVA und Khronos veranstalteten Sondierungsgruppe teil, um ein Dokument für den Arbeitsumfang zu erarbeiten, das die Richtung des API-Designs vorgibt. Die Entwurfsarbeiten sollen im Februar 2022 beginnen. Jede Organisation ist eingeladen, Khronos beizutreten und daran teilzunehmen. Alle Khronos-Mitglieder können sofort der "Camera Working Group" beitreten.

www.emva.org

Scanlab erweitert Geschäftsführung

Zum Jahresbeginn 2022 hat Laserscanner-Hersteller Scanlab seine Geschäftsführung um zwei Mitglieder ergänzt. Die beiden Neuzugänge in der Geschäftsführung, Dirk Thomas und Christian Sonner, sollen dazu beitragen, die Digitalisierungsstrategie des Unternehmens zu entwickeln und umzusetzen. Der bisherige Geschäftsführer Operations, Christian Huttenloher, hat das Unternehmen verlassen. Dirk Thomas,



Bild: Scanlab

Die Geschäftsführung von Scanlab (v.l.): Geschäftsführer Finanzen Dirk Thomas, Sprecher der Geschäftsführung Georg Hofner, Geschäftsführer Entwicklung Christian Sonner

bisher Kaufmännischer Leiter von Scanlab, gehört seit über 20 Jahren zur Belegschaft. Als neuer Geschäftsführer verantwortet er neben den Bereichen Administration, Controlling und Personalwesen auch die IT. Entwicklungsleiter Christian Sonner wurde zum Geschäftsführer berufen. Er ist seit neun Jahren im Unternehmen und soll auch in seiner neuen Funktion die Digitalisierung des Produktportfolios sowie die Entwicklung von höherintegrierten Scan-Systemen vorantreiben.

www.scanlab.de



www.mbj-imaging.com



Flex Serie für Machine Vision

Die passende LED-Beleuchtung für Ihr Projekt:

Bei der Flex Serie von MBJ geben Sie die Größe und Abstrahlcharakteristik vor.

- Auflicht-, Durchlicht- und Balkenbeleuchtung in variabler Größe
- Mehrere Kameraöffnungen bei freier Positionswahl möglich
- Große Auswahl an Farben und Abstrahlcharakteristiken

Jetzt die Flex Serie kennenlernen:



LED BELEUCHTUNGEN

Made in Germany





Die XIX-Kameraserie von Ximea, die abgesetzte Sensorköpfe (detached sensor heads) nutzt, ergänzt um Modelle mit einem neuartigen Gehäusekonzept, bietet viele Systemvorteile – vor allem für sehr kompakte sowie Hochleistungs-Embedded-Vision-Systeme.

Buchstäblich coole Sensoren für coole Projekte

Industriekameras mit abgesetztem Sensorkopf für gleichbleibend hohe Übertragungsraten

Die vollen Spezifikationen von schnellen Vision-Sensoren auf engstem Raum zu nutzen und dabei die Bildqualität noch zu steigern, dies ermöglichen die neuen Modelle der XIX-PCIe-Kameraserie von Ximea. Das Systemkonzept trennt die Hochleistungselektronik zur Datenübertragung räumlich von den bildgebenden Kameraelementen (Optik und Sensor). Die Elektronik kann sowohl mit Glasfaserkabeln an normale Computer gekoppelt werden als auch mit Hochleistungs-Embedded-Systemen mit Flachbandkabeln kompakte abgesetzte Einheiten bilden.

Ximea setzt bereits seit vielen Jahren PCIe als Datenschnittstelle zwischen Computern und Kameras ein. PCIe bietet Vorteile in Bandbreite, Skalierbarkeit, Handhabung und Systemkompatibilität. Zum Überbrücken hoher Kabellängen können Glasfaser-Kabel genutzt werden, um Einbußen bei der Datenübertragung zu vermeiden.

Darüber hinaus ist PCIe gegenwärtig die modernste universelle Schnittstelle. Jeder aktuelle PC oder Mac und auch schnelle Embedded-Systeme wie die Nvidia-Xavier-Familie basieren auf dieser Technologie – unabhängig vom eingesetzten Betriebssystem. Der größte Vorteil der PCIe-Schnittstelle ist, dass Kameras Daten ohne den Umweg über Framegrabber mit geringsten Latenzen direkt in den Systemspeicher liefern.

Neben einer direkten Datenübertragung können mehrere Geräte durch PCIe Switches

aggregiert und über eine Leitung übertragen werden. Das kann den Aufbau von Multi-Sensorsystemen erheblich vereinfachen.

PCIe: Aus 7 GByte pro Sekunde werden bald 14

Ximeas Hochgeschwindigkeitskameras unterstützen derzeit mit acht PCIe Lanes Gen3 Übertragungsraten von 64 Gbit/s oder effektiv 7 GByte/s. PCIe 4.0 ist bereits bei Home-PCs angekommen, PCIe 5.0 steht kurz vor der Markteinführung. Beide Schnittstellengenerationen verdoppeln jeweils die Bandbreite.

Einfach ausgedrückt, PCIe hat die höchste Bandbreite, die geringste Latenz und verfügt über eine einfach skalierbare Architektur für die anspruchsvollsten Imaging-Anwendungen.

Neben den genannten Vorteilen lassen sich mit PCIe auch hochkompakte und gleich-



Das Systemkonzept trennt die Hochleistungselektronik zur Datenübertragung räumlich von den bildgebenden Kameraelementen.«

zeitig schnelle Kameras realisieren. Die kleinen XIX-Kameras sind 26,4 x 26,5 x 31,9 mm groß und erreichen eine Datenrate von 10 Gbit/s. Diese winzigen Kameras sind bereits in der Lage, die volle Übertragungsrate der Sensoren Sony Pregius 2 oder CMOSIS/Osram CMV2000 und CMV4000 bereitzustellen.

Weitere Gehäusegrößen mit den Maßen von 60 x 60 x 38 mm genügen, um Vollformat- oder APS-C Sensoren mit 20 Gbit/s anzuschließen.

Aufbauend auf der vorhandenen Erfahrung hat Ximea auf Wunsch aus mehreren kundenspezifischen Anforderungen und Entwicklungsprojekten eine Erweiterung der XIX-Kameraserie vorgenommen.

Hochauflösender Sensor bleibt auch ohne aktive Kühlung der Kamera cool

Das neuartige Gehäusekonzept mit abgesetztem Sensorkopf wurde für ein Projekt mit den folgenden Anforderungen entwickelt: ein Multisensor-System mit Sonys hochauflösenden IMX 530 Sensoren bei vollen 100 fps, maximal kompakter Sensorkopf, Verzicht auf aktive Kühlung des Sensors bei dennoch möglichst geringem Rauschen (Temperatur) sowie eine aggregierte Datenübertragung zum Computer.

Entstanden sind daraus Ximeas Detachable-Sensorhead-Kameras, die bei Ximea intern gerne „Cobra“ genannt werden, oder Kameras mit abgesetztem Sensorkopf.

Der Sensor befindet sich in einem eigenen kleinen Gehäuse, in Entwicklungsprojekten können auch Board-Level-Sensorköpfe eingesetzt werden. Der einzige temperaturerzeugende Baustein in diesem Sensorkopf ist der Sensor selbst. Die 'heißen' Komponenten wie FPGA und die Schnittstellenbausteine haben keinen Einfluss auf den optisch aktiven Teil, der damit im wahrsten Sinne des Wortes immer 'cool' bleibt. Die Implementierung erlaubt mehrere Meter Abstand zwischen Sensor und Elektronik, sodass eine effiziente Trennung je nach Projektanforderung durch den Einsatz von entsprechend langen Verbindungskabeln erreicht wird.

Zum abgesetzten Sensorkopf genügt ein Kabel

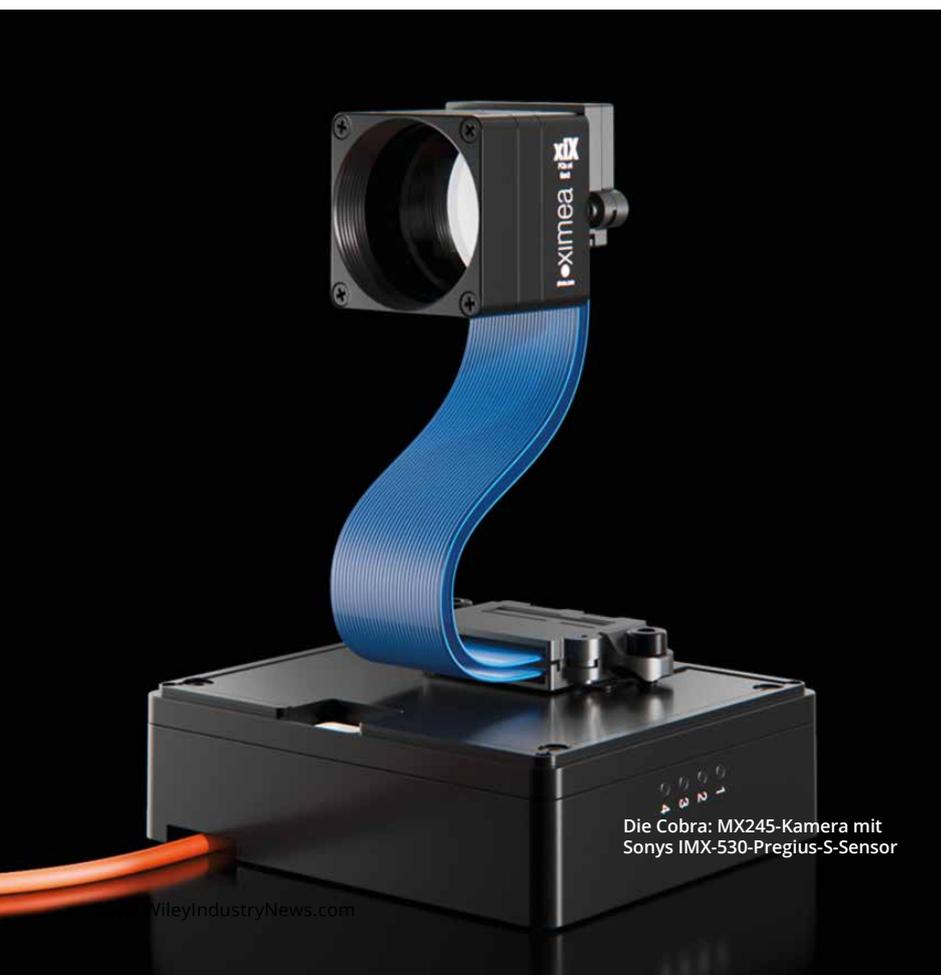
Dadurch, dass nur der Sensor mit Strom versorgt werden muss, wird neben dem Flachbandkabel keine weitere Verkabelung zum Sensor benötigt. Die Leistungsdaten dieser Kameras sind beeindruckend:

- Integriert sind derzeit zum Beispiel die Sony-Pregius-S-Sensoren IMX530 (24.5 MPixel), IMX531 (20.3 MPixel) und IMX532 (16.1 MPixel).
- Der Sensorkopf inklusive des C-Mount hat Ausmaße von lediglich 26,4 x 26,4 x 33mm.
- Trotzdem kann die volle Daten-Bandbreite der Sensoren bereitgestellt werden: IMX530 mit 105 Bilder pro Sekunde (fps), IMX531 mit 109 fps und IMX532 mit 159 fps.

Erreicht wird die hohe Bandbreite durch die oben schon erwähnte einfache Skalierbarkeit der verwendeten Schnittstelle. Gewählt wurden vier PCIe lanes Gen 3 mit insgesamt 32 Gbit/s, passend zum SLVS-EC Output der Sensoren.

Die verwendeten Sensoren der Pregius S Serie von Sony und damit die neuen Kameras bieten neben der maximalen Bildrate auch interessante Funktionen, die für Standardsensoren nicht verfügbar sind:

- Leistungsstarke Sensorfunktionen,



Die Cobra: MX245-Kamera mit Sonys IMX-530-Pregius-S-Sensor

Unterschiedliche Sensorformate der XIX-Kamera Serie (v.l.): die MX610 mit Sony's IMX455, die MX1018 mit dem IMX461 und die MX245 mit dem IMX530. Alle bieten die Möglichkeit, den Sensorkopf vom Gehäuse zu trennen.



Model		Sensor	Resolution	Pix. size [µm]	ADC [bits]	DR [dB]	FWC [ke-]	Sensor size / diagonal [mm]	Optical size	Fps
MX161MG-SY-X4G3-FF MX161CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX532	5328 x 3040 16,1 Mpix	2.74	8, 10, 12 Dual ADC	70+	9.5	14.5 x 8.3 16.8	1.1"	159 ²
MX203MG-SY-X4G3-FF MX203CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX531	4504 x 4504 20,3 Mpix	2.74	8, 10, 12 Dual ADC	70+	9.5	12.3 x 12.3 17.5	1.1"	109 ²
MX245MG-SY-X4G3-FF MX245CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX530	5320 x 4600 24,5 Mpix	2.74	8, 10, 12 Dual ADC	70+	9.5	14.5 x 12.6 19.3	1.2"	105 ²
MX262MG-SY-X8G3-FF MX262CG-SY-X8G3-FF	b/w color	GPixel GMAX0505	5120 x 5120 26.2 Mpix	2.5	10, 12	63	6.5	12.8 x 12.8 18.1	1.2"	150 / 41 ³
MX654MG-SY-X8G3-FF MX654CG-SY-X8G3-FF	b/w color	GPixel GMAX3265	9344 x 7000 65.4 Mpix	3.2	10, 12	64	12.5	29.9 x 22.4 37.4	2.3"	71 / 31 ³
MX610MG-SY-X4G3-FF MX610CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX455	9568 x 6380 61 Mpix	3.76	11, 12, 14, 16	83	47	35.9 x 23.9 43.2	Type 2.7	3.9 ¹
MX1018MG-SY-X4G3-FF MX1018CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX461	11648 x 8742 101 Mpix	3.76	11, 12, 14, 16	83	47	43.8 x 32.8 54.7	Type 3.4	2.7 ¹
MX1510MG-SY-X4G3-FF MX1510CG-SY-X4G3-FF	b/w color	Sony IMX411	14208 x 10656 151 Mpix	3.76	11, 12, 14, 16	83	47	53.3 x 40.0 66.6	Type 4.2	2 ¹

wie Multiple ROI mit bis zu 8x8 ROIs, reduzieren die Datenmenge und sorgen so für schnellere Bildraten;

- rauscharme CCD-Leistung mit der Hochgeschwindigkeits- und Hochpräzisionsleistung eines Global Shutter;
- ultrakurzes Intervall zwischen zwei Verschlüssen, Überwachung der Belichtungszeit und verbessertes On-Sensor-Thermometer;
- dualer ADC mit niedrigem und hohem Verstärkungsgrad, dessen Fusion zu einem HDR-Bild führt.

Die Dual-ADC Fusion kann entweder direkt im Sensor erfolgen oder im FPGA der Kamera,

mittels Ximeas eigener Implementierung, die zu einer linearen Sensorkennlinie führt.

Embedded Vision: Kameraanschluss via Flachbandkabel

Für Integrationsprojekte, insbesondere beim Einsatz sehr leistungsfähiger Systeme, wie Nvidias Xavier, kann der Anschluss an den Computer über ein Flachbandkabel (Samtec Firefly) erfolgen. Für diese Einsatzzwecke wurden die ersten Projektentwicklungen erarbeitet.

Über das dann sehr kurze und biegsame Anschlusskabel zwischen Computer und Kamera kann die Kamera auch mit Strom und Trigger-Impulsen versorgt werden. Auch die

Komponente mit der Elektronik hat dann minimale Ausmaße:

- Für Integrationsprojekte hat Ximea ein kompaktes Carrier-Board entwickelt, das direkt die SODIMM-Variante von Nvidias Xavier-NX-, Nano- und TX2-NX-Systeme integrieren kann. Damit sind die sicher kompaktesten Hochleistungs-Embedded-Bildverarbeitungssysteme zu realisieren.
- Mit dem identischen Systemkonzept bietet Ximea auch Kameras mit den hochauflösenden SONY Sensoren IMX411 (151 MPixel), IMX461 (101 MPixel) und IMX455 (61 MPixel) an. Damit



Der einzige temperaturerzeugende Baustein in diesem Sensorkopf ist der Sensor selbst. Dadurch bleibt dieser kühl und kann dauerhaft hohe Übertragungsraten halten.«

können zum Beispiel ultrakompakte Inspektionssysteme oder Luftbildkamerasysteme mit bisher nicht möglicher Systemgeometrie realisiert werden.

- Auch diese Kameras verwenden das 32 Gbit/s PCIe Interface.

Darauf aufbauend wurden, ebenfalls ursprünglich für kundenspezifische Integrationsprojekte, Kameras mit schnelleren Schnittstellen entwickelt: Der Sensor Gpixel GMAX0505 kann 150 fps bei 25.5 Mpixel liefern, der Sensor Gpixel GMAX3265 mit 65.4 Mpixel bei 71 fps. Dafür werden 8 PCIe Lanes Gen3 genutzt, wie auch in anderen Kameras mit Hochgeschwindigkeits-Interface von Ximea.

Kameras auch mit herkömmlichen Schnittstellen und Bauformen erhältlich

Um nicht nur Embedded- beziehungsweise hochintegrierte Projekte zu unterstützen, werden alle genannten Kameras auch als Kameras mit herkömmlichen Schnittstellen, auf Wunsch mit abgesetztem Sensorkopf oder als integrierte Kamera angeboten: Diese Kameras verfügen dann über eine aktive Kühlung. Die Datenschnittstelle ist ein

Glasfaser-MTP-Port, für die Stromversorgung und das IO-Interface wird ein gängiger Industriestecker genutzt. Auf Wunsch kann der Anwender den Sensorkopf von der Kameraelektronik abkoppeln, um den Sensor kühl zu halten, aber auch, um ansonsten kaum realisierbare Systemgeometrien zu erreichen, zum Beispiel von der optischen Einheit unabhängige Kabelführungen.

Röntgenkameraserie ergänzt Hochgeschwindigkeitsportfolio

Mit dem neuen Systemansatz konnte Ximea auch bei anderen Projekten erfolgreich weiterhelfen. So wird eine umfangreiche Serie an Röntgenkameras der Xiray-Serie in verschiedenen Größen und Leistungen angeboten. Die Sensoren inklusive der direkt verbundenen Fiber-Channel-Plates beziehungsweise Fiber-Taper mussten bislang für maximale Bildqualität aktiv gekühlt werden.

Aus den Erfahrungen mit den Detached Sensor Boards hat Ximea auch eine Röntgenkamera mit dem gleichen Konzept abgeleitet. Der große und mit 151 MPixel hochauflösende Sensor, Fiberplate und Szintillator sind im abgesetzten Kopf verbaut und benötigen keine aktive Kühlung mehr. Das hat nicht nur zu einem sehr fle-

xiblen Konzept geführt, sondern macht die Kamera auch einfacher wartbar und führt zu deutlichen Kostensenkungen gegenüber vergleichbaren Kameras mit ähnlich großen Sensoren.

Embedded-Vision- und Hochleistungskameras profitieren von abgesetztem Bildsensor

Die neuen Kameras mit abgesetztem Sensorkopf (detached sensor heads) ermöglichen zahlreiche Sytemvorteile – vor allem für kompakte Integrationsprojekte und hochintegrierte Hochleistungs-Vision-Systeme.

Durch die Abtrennung des Sensors haben die temperaturerzeugenden Bausteine der Kamera, wie FPGA und die Schnittstellenbausteine keinen Einfluss auf die optisch aktive Komponente. Die Implementierung ermöglicht dabei Abstände zwischen Sensor und Elektronik von mehreren Metern.

Durch die PCIe-Schnittstelle lassen sich hohe Bandbreiten, geringe Latenzen und einfache Skalierbarkeit erreichen. Auch sehr kleine Kameras sind durch PCIe in der Lage, die volle Übertragungsraten der Sensoren Sony Pregius 2 oder CMOSIS/Osram CMV2000 und CMV4000 bereitzustellen. ■



Hochauflösender Sensor, kompakter Sensorkopf, passive Kühlung bei geringem Rauschen sowie eine aggregierte Datenübertragung zum Computer: Diese Anforderungen erfüllt die MX245-Kamera mit Sonys IMX-530-Pregius-S-Sensor.

AUTOR

Jürgen Hillmann
Managing Director bei Ximea

KONTAKT

Ximea GmbH, Münster
Tel.: +49 251 202 408 0
sales@ximea.com
www.ximea.com



Mit der photothermischen Schichtdickenmess-technik lässt sich beispielsweise die Dicke einer Lackschicht auf einem Stahlbauteil messen.

TEIL 1

Grundlagen der photothermischen Schichtdickenmessung

Physikalische Funktionsweise der Alternative zu Wirbelstrom und Ultraschall

Die photothermische Schichtdickenmessung ist unempfindlich gegenüber Messabstand und -winkel, wodurch sie sich für alle Inline- und Roboteranwendungen eignet. Im Gegensatz zu Methoden mit ionisierender Strahlung wie β -Rückstreuung oder Röntgen kommt die Photothermie mit LED-Licht aus. In manchen Fällen kommen Laser oder Blitzlampen zum Einsatz. Das hier verwendete Lock-in-Verfahren ermöglicht außerdem eine kontinuierliche Messung.

In nahezu allen industriellen Bereichen werden Bauteile beschichtet. Es handelt sich zum Beispiel um Korrosionsschutz, Farblackierungen, Pulverlacke, Klarlacke oder funktionelle Oberflächenbeschichtungen. Für die Qualitäts- und Prozesskontrolle ist es wichtig, die Dicke der aufgetragenen Schicht messen zu können.

Übliche Verfahren hierfür sind beispielsweise Wirbelstrom- oder induktive Messverfahren, diese benötigen aber metallische oder speziell ferromagnetische Substrate. Andere Verfahren, wie Ultraschall, benötigen direkten Kontakt zur Probe und sind daher für Messungen auf noch nassen Beschichtungen oder nicht eingebrannten Pulverlacken ungeeignet.

Die photothermische Schichtdickenmess-technik ist eine optische Messtechnik, die prinzipbedingt auf allen Substratmaterialien

funktioniert und berührungslos arbeitet. Sie nutzt die thermooptische Interferenz aus, um die Dicke zum Beispiel einer Lackschicht zu messen. Dieses Verfahren wird im Folgenden näher vorgestellt und die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Messung werden dargestellt.

Der photothermische Effekt

Der photothermische Effekt ist ein Phänomen, das seit ca. 1880 bekannt ist. Er beschreibt, dass Materialien optische Strahlung absorbieren können und in Wärme umwandeln^[1]. Diesen Effekt nutzte schon Bell bei der Konstruktion seines „Photophons“.

Wie ausgeprägt dieser Effekt ist, hängt vom Beschichtungsmaterial ab: Materialien, die optische Strahlung nur schwach absorbieren, zeigen nur geringe Temperaturänderungen, ebenso Materialien, deren

Oberflächen stark reflektieren. Materialien mit glänzender Oberfläche und/oder transparenter Erscheinung erwärmen sich daher weniger stark als zum Beispiel matte und/oder intransparente Materialien.

Im dargestellten Fall kommt zur thermischen Anregung Licht aus dem nahinfraroten Teil des optischen Spektrums (NIR) zum Einsatz. Die Beschichtung wandelt die absorbierte Energie in Wärme um, was zu einer Temperaturänderung $\theta(t)$ führt. Dabei wird Schwarzkörperstrahlung ausgesendet, deren Wellenlänge im mittleren bis langwelligen Infrarotbereich (MWIR-LWIR) liegt. Das Beschichtungsmaterial ist charakterisiert durch seine spezifische Dichte ρ , Wärmekapazität c und Wärmeleitkoeffizient k .

Thermische Wellen

Thermische Wellen sind in der Physik lange bekannt. Moduliert man die Intensität der anregenden Strahlung, wird in der Beschichtung eine thermische Welle angeregt. Thermische Wellen entstehen aus der Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung

$$(1): \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

mit der thermischen Diffusivität $\alpha = k/\rho c$, wenn als Randbedingung ein, wie dargestellt,

zeitlich modulierter Wärmestrom vorgegeben wird ^[2]. Die Erwärmung des Materials ist dann ebenfalls moduliert und beschreibt eine in positiver Richtung laufende Welle

$$(2): T(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{4e^2\omega}} \exp\left(-\frac{x}{\mu}\right) \cdot \sin\left(\omega t - \frac{x}{\mu} - \frac{\pi}{4}\right)$$

Hierin ist mit $e = \sqrt{qck}$ die thermische Effusivität bezeichnet. Der Phasenunterschied $-\pi/4$ entsteht durch die Vorgabe eines Wärmestroms.

Thermische Wellen werden durch die thermische Wellenlänge $\mu = \sqrt{2\alpha/\omega}$ beschrieben. Die Wellenlänge der thermischen Welle lässt sich also durch die Modulationsfrequenz beeinflussen: Je geringer die Modulationsfrequenz, desto größer die Eindringtiefe.

Zum ersten Mal zu Messzwecken wurden thermische Wellen im Rahmen der photoakustischen Spektroskopie innerhalb der Materialcharakterisierung angewendet. Hierbei wurde die thermische Expansion eines Gases in einem abgeschlossenen Volumen mittels eines Mikrofons aufgezeichnet und mit der Anregung korreliert ^[3, 4].

Thermooptik und thermische Interferenz

Thermische Wellen verhalten sich in vielerlei Hinsicht wie mechanische, akustische und optische Wellen. Basierend auf den Effusivitäten von Beschichtung e_c und Substrat e_s lässt sich ein thermooptischer Brechungsindex

$$(3): N_{th} = \frac{e_s}{e_c}$$

definieren, der den reflektierten und den transmittierten Wellenanteil beschreibt:

$$(4a): R = \frac{1 - N_{th}}{1 + N_{th}}$$

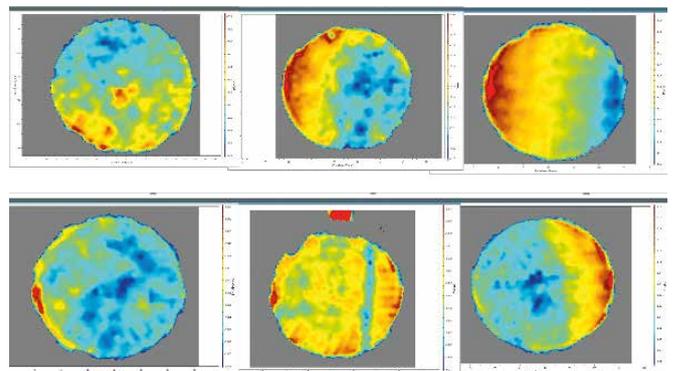
$$(4b): T = \frac{2}{1 + N_{th}}$$

Wenn die Effusivitäten von Beschichtung und Substrat ungefähr gleich sind, ist der thermische Brechungsindex und damit das Reflektionsvermögen der Grenzfläche gering. Messungen sind dann nicht oder nur schwer möglich. In der Praxis ist dies sehr selten zu beobachten. Dem kann zum Beispiel begegnet werden, indem die Beschichtung beziehungsweise der Lack im nassen Zustand inline gemessen wird.

Die photothermische Schichtdickenmessung nutzt aus, dass thermische Wellen in dünnen Schichten Interferenzeffekte zeigen. Trifft anregende Strahlung auf die Oberfläche eines gut absorbierenden Materials, werden im oberflächennahen Bereich thermische Wellen angeregt. Von einem Anregungszentrum gehen zwei Wellenzüge ab: einer, der zunächst an der Grenzfläche zur Atmosphäre reflektiert wird, und einer, der zunächst an der Grenzfläche zum Substrat



Elektrodenstanzlinge von Li-Ionen-Batterien: Stanzlinge dienen typischerweise der Kalibrierung und Qualitätsprüfung. Ihre Schichtdicke wird meist als konstant angenommen.



Photothermische Heatmaps der Stanzlinge: Der Flächenscan offenbart auch sehr kleine Schichtdickenunterschiede (<0,1 Prozent).

reflektiert wird. Bei Überlagerung beider Wellenzüge entsteht eine thermische Welle, die gegenüber der anregenden Strahlung einen Phasenunterschied aufweist, für den gilt:

$$(5): \tan \delta = \frac{R_s(1 + R_a) \exp\left(-\frac{h}{\mu}\right) \sin\left(\frac{h}{\mu}\right)}{1 + R_s(1 - R_a) \exp\left(-\frac{h}{\mu}\right) \cos\left(\frac{h}{\mu}\right) - R_s^2 R_a \exp\left(-\frac{2h}{\mu}\right)}$$

Der Phasenunterschied hängt neben den thermooptischen Parametern von der Schichtdicke h ab. Bei Kenntnis der thermooptischen Parameter lässt sich also ein bekannter Gangunterschied in eine Schichtdicke umrechnen. Diese Gangunterschiede lassen sich etwa

LUMIMAX[®]
BASIC

FLÄCHENBELEUCHTUNG

- Einsatz in einfachen Machine Vision Applikationen
- Fokus auf wesentliche Funktionen
- Optimierte Anschaffungskosten

>> www.lumimax.de/BASIC

durch Lock-In-Verfahren oder Fourieranalyse sehr präzise bestimmen.

Emissionsgrad und Oberflächenreflexion

Der Emissionsgrad (Emissivität) ist eine dimensionslose Größe, die beschreibt, wie stark eine Oberfläche Strahlung emittiert [5]. Ein *schwarzer Strahler* besitzt einen Emissionsgrad $\epsilon=1$, ein *grauer Strahler* besitzt einen Emissionsgrad $\epsilon<1$, ein *nichtgrauer Strahler* besitzt einen wellenlängenabhängigen Emissionsgrad $\epsilon=\epsilon(\lambda)<1$. Der Emissionsgrad beeinflusst direkt die Intensität der abgegebenen Strahlung nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz (Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$):

$$(6): S(\theta) = \sigma \epsilon (T + \theta)^4$$

Der Emissionsgrad der meisten Nichtmetalle, Lacke, Farben und Kunststoffe liegt im Infrarotbereich über 0,9 und ist weitgehend wellenlängenunabhängig. Diese Materialien lassen sich in der Regel mit IR-Detektoren gut messen.

Einen größeren Einfluss auf die photothermische Messung besitzt dagegen der optische Reflexionsgrad (Reflexionsvermögen) der Oberfläche für das anregende Licht. Der Reflexionsgrad R_{opt} bestimmt, wie stark die Oberfläche erwärmt wird (vgl. Gleichungen (7a,b)). Schwarze Oberflächen besitzen einen Reflexionsgrad von weniger als 0,1 und helle Oberflächen einen Reflexionsgrad von über 0,9.

Der Einfluss des Reflexionsvermögens lässt sich gut durch Messung der Temperaturänderung nachweisen, die das Bestrahlen mit Infrarotlicht (NIR) bei verschiedenen Oberflächenfärbungen hervorruft.

Die Signalamplituden der Materialien mit unterschiedlichem Reflexionsgrad weichen um ein bis zwei Größenordnungen voneinander ab. Ein Vergleich der Amplituden führt auf einen Reflexionsgrad von etwa 0,05 für Gummi und 0,96 für rotes Papier und 0,99 für weißes Papier. Entsprechend gering ist die Temperaturänderung bei den Papierproben. Ist für eine Messanwendung die Erwärmung aufgrund des hohen Reflexionsgrads zu gering, sollte eine Strahlquelle eingesetzt werden, deren Wellenlänge weniger stark reflektiert wird.

Optische Absorption

Weiteren Einfluss auf die Messung hat der Absorptionskoeffizient β_{opt} . Dieser ist der Kehrwert der Eindringtiefe der optischen Strahlung in das Material. Die Erwärmung der Probe und damit das für Messungen zur Verfügung stehende Antwortsignal ist umso stärker, je größer der Absorptionskoeffizient ist. Dieser reicht von etwa 10^6 bis 10^7 m^{-1} für intransparente Materialien bis nahe 0 für transparente Materialien.

Nach [1] wirkt sich der Absorptionskoeffizient auch auf die Ausdehnung der Entste-



Inline-Messung von Gleitlack auf Gummi. Durch den hohen thermooptischen Kontrast lässt sich die Schichtdicke sehr gut photothermisch messen.

hungszone thermischer Wellen aus. Für die Temperaturänderung θ_0 gilt in diesem Fall, wie an gleicher Stelle hergeleitet:

$$(7a): \theta_0 = \frac{(1 - R_{\text{opt}})S_0}{\sqrt{2e_1\omega}}$$

Im Fall schwacher optischer Absorption gilt dagegen:

$$(7b): \theta_0 = \frac{(1 - R_{\text{opt}})S_0 k_1}{e_1 \omega}$$

Im ersten Fall fällt die Temperaturamplitude also proportional mit der Wurzel der Modulationsfrequenz, im zweiten Fall dagegen proportional mit der Modulationsfrequenz selbst. In beiden Gleichungen bezeichnet S_0 die Intensität der anregenden Strahlung. Dieses Verhalten lässt sich sehr gut messen.

Messbarkeit

Allgemein gilt, dass die Güte photothermischer Messungen vom Reflexionsvermögen der Oberfläche, vom Absorptionskoeffizienten der Beschichtung und dem Emissionsgrad abhängen. Alle drei Einflüsse hängen von den verwendeten Materialien ab.

Bei einer periodischen Anregung lässt sich die Präzision der Messung erhöhen, indem man über mehrere Perioden mittelt. Es sind außerdem eine kontinuierliche Messung an bewegten Objekten und Scannen über Oberflächen möglich. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber einer Impulsanregung etwa mit Blitzlicht. Die Präzision der Messung entspricht dann dem Konfidenzintervall um den Messwert beziehungsweise gemittelten Messwert. Typischerweise wird ein Ein- oder Mehrfaches der Standardabweichung beziehungsweise Standardfehler als Intervallgrenze herangezogen. Erstere hängt von den Messbedingungen ab. Letz-

terer kann durch längere Messdauern und damit längere Mittelungszeiten verringert werden [6].

Zusammenfassung

Die Qualität photothermischer Messungen hängt vom Absorptionsvermögen des verwendeten Materials, von dessen Emissivität und vom thermooptischen Brechungsindex zwischen Beschichtung und Substrat ab. Photothermische Schichtdickenmessungen eignen sich daher für eine breite Auswahl an Materialsystemen, sofern diese grundlegenden physikalischen Voraussetzungen erfüllt sind.

Auch bei kleiner Signalamplitude lässt sich durch Mittelwertbildung eine hohe Präzision der Messwerte erreichen. ■

Literatur

- [1] D. P. Almond and P. M. Patel, *Photothermal Science and Techniques*, 1st ed. (Chapman & Hall, London, 1996).
- [2] W. Macke, *Statistik und Thermodynamik* (Akad. Verlagsgs. Geest & Portig, Leipzig, 1962).
- [3] A. Rosenwaig and A. Gersho, *J. Appl. Phys.* 47, 64 (1976).
- [4] N. Fernelius, *J. Appl. Phys.* 51, 650 (1980).
- [5] H. Naumann, G. Schröder, und M. Löffler-Mang, *Handbuch Bauelemente der Optik*, 7th ed. (Hanser, München, 2014).
- [6] H. Kuchling, *Taschenbuch der Physik*, 18th ed. (Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 2004).

AUTOR

Stefan Böttger
Geschäftsführer

KONTAKT

AIM Systems GmbH, St. Ingbert
Tel.: +49 6894 388 23 0
Fax: +49 6894 388 23 19
application@aimsys.de
www.aimsys.de



Polytec erweitert Portfolio um Swir-Kameras von Firstlight

Die High-End-Swir-Kameras der C-RED-Serie von Firstlight sind ultraschnell, rauscharm und werden mit 600 fps und weniger als 60 Elektronen Ausleserauschen betrieben. Damit eignen sie sich besonders für Anwendungen mit schwachem Licht, kurzen Belichtungszeiten und Hochgeschwindigkeitsanforderungen. Es sind sowohl gekühlte als auch ungekühlte sowie OEM-Modelle verfügbar. Die InGaAs-Kameras unterliegen keinen Exportbeschränkungen und ITAR-Regeln, wie Produkte US-amerikanischer Hersteller.

Dr. Dirk Samiec, Geschäftsfeldleiter Photonik bei Polytec: „Die rauscharmen Highspeed-Kameras von Firstlight sind sowohl für industrielle als auch wissenschaftliche Echtzeitanwendungen geeignet.“

www.polytec.de



Schneller 4K-Framegrabber für die Bildanalyse

Die bei Acced erhältliche neue High-Performance-Karte PCIe-HDV72 im Format PCI Express x4 Gen2/3 unterstützt HDMI 2.0 und damit die verlustfreie Bildübertragung in 4K beziehungsweise Ultra-HD. Die unkomprimierten Video- und Audiodaten werden über die MHL-3.0-Schnittstelle eingespeist und können im RGB-Format bis zu 36 Bit ausgegeben werden, ohne die CPU zu belasten. Im Betrieb ist die Karte bei Umgebungstemperaturen von 0 bis 55 °C einsetzbar.

Framegrabber, deren Bezeichnung sich aus ihrer ursprünglichen Funktion herleitet, die Einzelbilder eines analogen Videosignals (Frames) abzutasten und in digitale Bilder umzuwandeln, werden heute treffender als Protokollkonverter bezeichnet. Diese Spezialisten sind im industriellen Einsatz die entscheidende Komponente zwischen Kamera und Bildauswertung, wenn es um das Erfassen speicherintensiver Bilder und einen hohen Datendurchsatz in Echtzeit geht. Ohne die Auswertung und Bearbeitung von Bilddaten sind hohe Qualitätsanforderungen in der Fertigung, der Produktionskontrolle sowie dem Anlagen- und Sondermaschinenbau nicht mehr erfüllbar. Die eingesetzte Hardware hat dabei einen nicht zu unterschätzenden Einfluss.

Die einkanale Steckkarte PCIe-HDV72 bietet mit der Unterstützung von HDMI 2.0 einen hohen Standard und kann damit die TCO insbesondere für Anwendungen reduzieren, bei denen eine leistungsstarke Video- und Audioquelle erfasst und ausgewertet werden soll, zum Beispiel bei der Materialprüfung, der Produktionsüberwachung oder der medizinischen Bildgebung. Zu den Features gehören die hardwareseitige Farbraumkonvertierung, die Unterstützung von RGB bis zu 36 Bit und YUV 444/422/420 sowie High-bandwidth Digital Content Protection (HDCP) 2.2. Der Audio-Decoder unterstützt Sampling-Raten von 32 über 44,1 bis zu 192 kHz mit 16, 20 und 24 Bit. Mit der optionalen Software Viewcreator Pro (Windows) desselben Herstellers lassen sich effizient Anwendungen für Konfiguration, Test und Debugging erstellen.

www.aceed.com



Spot-Licht für eine Millionstel Sekunde

Evotron erweitert das Produktportfolio: Im Bereich der Hochleistungs-LED-Spotbeleuchtungen kommt die Produktserie S-5x50 hinzu, die mit Lumisens-Technologie ausgestattet ist. Die Modelle sind in einem thermisch optimierten Aluminiumgehäuse mit Schutzart IP67 untergebracht. Bei einem Arbeitsabstand von 50 mm erzeugen sie mit einer Hochleistungs-LED einen homogen ausgeleuchteten Spot mit 5 mm Durchmesser. Unterstützt werden sie dabei durch digitale Regelungstechnik sowie durch eine fokussierbare Glasoptik, die gegen Verstellung gesichert werden kann.

Im Dauerbetrieb fallen auf die beleuchtete Fläche maximal 10 W Lichtleistung. Im Blitzbetrieb sind es maximal 35 W. Evotrons Spots der Serie S-5x50 gehören damit zu den hellsten LED-Spotbeleuchtungen am Markt. Im Blitzbetrieb sind Lichtpulse von einer Millionstel Sekunde (1 µs) möglich. Bildsensoren aktueller Standardkameras können mit dieser Lichtenergie kontrastreiche und exakt wiederholbare Bilder erzeugen. Dazu stehen aktuell die Lichtfarben blau, grün und amber zur Verfügung. Weiß befindet sich in der Fertigungsüberführung. LED-Spotbeleuchtungen der Serie S-5x50 eignen sich somit für Highspeed-Anwendungen im Auflicht und Durchlicht.

www.evotron-gmbh.de

Schutzgehäuse für großformatige Kameras

Die Schutzgehäuse der Megalodon-Serie von Autovimation bieten mit einem erweiterten Innenradius auch solchen Kamertypen zuverlässigen Rundumschutz mit IP66/67, die für Schutzgehäuse der Orca-Serie mit gleichem Außendurchmesser etwas zu groß sind.



Aufgrund des 2 mm größeren Innendurchmessers eignet sich Megalodon für Flir A400 sowie Dalsa Linea und für andere großformatige Fabrikate mit entsprechendem Eckenradius, wie JAI Spark, Runner Basler etc. Für Kameras der Flir A400/700-Serien liefert Autovimation eine passende Halterung sowie einen Spezial-Fenstereinsatz mit Germanium- und Bk7-Scheibe, der den gleichzeitigen Betrieb von Infrarot- und optischer Kamera ermöglicht.

Für die "Reverse-Version" der Megalodon-Gehäuse lassen sich auch alle Orca-Frontdeckel verwenden, zum Beispiel das Dome-Fenster. Ebenfalls lässt sich die standardmäßige Gehäuselänge von 227 mm mit den 30 beziehungsweise 60 mm langen Orca-Verlängerungen variieren. Durch die flexible Kamerabefestigung Quick-Lock/Heat-Guide lässt sich jedes Objektiv direkt hinter der Frontscheibe positionieren, um Eckverschattungen zu vermeiden.

www.autovimation.com

FALCON®

DOME-BELEUCHTUNG
FÜR DIE INDUSTRIELLE
BILDVERARBEITUNG

DAS LICHT OHNE SCHATTENSEITEN

www.falcon-illumination.de
+49 1748649733



Der schwarze Diffusor der Hintergrundbeleuchtung ermöglicht es, im An-Zustand den Füllstand der Ampulle zu prüfen und im Aus-Zustand – in Kombination mit einer zusätzlichen Auflichtbeleuchtung – die Etikettenbeschriftung mit der Lotnummer und dem Mindesthaltbarkeitsdatum.

Schwarzer Diffusor für Hintergrundbeleuchtungen

LED-Beleuchtung in Pharmaanwendung

Ein Beleuchtungstyp, der besonders durch die wachsende Industrie in den Bereichen der Pharma- und Medizintechnik an größerer Bedeutung gewinnt, ist die Hintergrundbeleuchtung. Sie eignet sich besonders dazu, Füllstände von lichtdurchlässigen, teil- oder volltransparenten Gefäßen zu messen, wie einer mit Arzneimittel gefüllten Ampulle. Eine schwarze Streuscheibe ermöglicht es, einen weiteren Beleuchtungstyp für eine zusätzliche Prüfung mit derselben Kamera zu installieren.

Wo früher das menschliche Auge mit gewissen Hilfsmitteln, wie einer Messlehre oder einer Lupe, die Qualität von industriell hergestellten Produkten geprüft hat, kommen heutzutage überwiegend optische Gesamtsysteme zum Einsatz. Diese bestehen zumeist aus einer Beleuchtungseinheit, die das Prüfobjekt optimal ausleuchtet, einer Kamera, die eine Aufnahme des Objekts aufnimmt und einer Software, die die generierte Prüfaufnahme auswertet. Wegen der Personalkostenersparnis der geringeren Fehlerquote, der höheren Sterilität und der digitalen Dokumentation setzen Anwender vermehrt auf diese Systeme. Aufgrund der

großen Produktvielfalt gibt es allerdings nicht ein optisches Gesamtsystem, das auf alle Produkte zur Prüfkontrolle anwendbar ist, sondern unzählig viele Varianten und Ausführungsformen. Dabei ist die Beleuchtungseinheit eines der vielfältigsten Teile des Gesamtsystems, da nicht nur der Beleuchtungstyp, wie Auflicht-, Dunkelfeld-, Hintergrundbeleuchtung, sondern auch die Beleuchtungsfarbe (rot, grün, blau, infrarot, ultraviolett, weiß) für den jeweiligen Anwendungsfall gewählt werden kann. Jeder Beleuchtungstyp hat individuelle Lichteigenschaften, die für bestimmte Prüfaufgaben sinnvoll sind. Ein Beleuchtungstyp, der besonders durch die wachsende Industrie

in den Bereichen der Pharma- und Medizintechnik an größerer Bedeutung gewinnt, ist die Hintergrundbeleuchtung.

Aufbau und Einsatz von Hintergrundbeleuchtungen

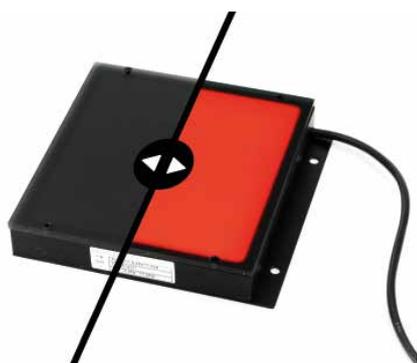
Das Beleuchtungsprinzip wird bereits im Namen offenbart: Das Licht erstrahlt hinter dem zu prüfenden Bauteil. Der Aufbau einer solchen Beleuchtung kann abweichen, wobei der folgende sehr gängig ist. Auf einer Grundplatte werden lichtstarke SMD-LEDs ganzflächig und eng bestückt angeordnet. Über diesen befindet sich eine milchige Streuscheibe (Diffusor). Diese wandelt die von den LEDs austretenden einzelnen Lichtstrahlen in viele Teilstrahlen um. Da diese Teilstrahlen in verschiedene Richtungen ausgehen, entsteht nicht gerichtetes, diffuses Licht, was eine homogene Ausleuchtung zur Folge hat. Mit dieser Lichteigenschaft eignet sich eine Hintergrundbeleuchtung besonders dazu, Füllstände von lichtdurchlässigen, teil- oder volltransparenten Gefäßen zu messen sowie Umrisse von Produkten zu kontrollieren.

Füllstandsmessung einer Ampulle

Ein Anwendungsbeispiel ist die optische Messung des Füllstands einer mit Arzneimittel gefüllten Ampulle. Die Hintergrundbeleuchtung durchleuchtet die Ampulle, wobei die Flüssigkeit in der Ampulle das Licht bricht. Auf der Aufnahme der Kamera hebt sich der flüssigkeitsgefüllte von dem flüssigkeitsleeren Ampullenbereich ab. Eine Software wertet anschließend aus, ob die Ampulle richtig gefüllt ist. Besonders in der Pharma- und Medizintechnik ist diese Prüfung elementar, da beispielsweise eine falsche Dosierung eines Medikamentes fatale Folgen haben kann.

Produktneuheit: schwarzer Diffusor

Neben der klassischen Hintergrundbeleuchtung mit einer milchigen Streuscheibe gibt es neuerdings auch eine weitere Ausführungsform mit einem matten, schwarzen Diffusor. Hierbei unterscheidet sich der Beleuchtungsaufbau lediglich in der Streuscheibe, die über den LEDs angebracht wird. Die schwarze, matte Diffusorscheibe lässt das Licht der LEDs im eingeschalteten Zustand passieren. Wenn sich die Beleuchtung im ausgeschalteten Zustand befindet, dient die schwarze, matte Diffusorscheibe als optimaler nicht-reflektierender Hintergrund. Um bei dem Beispiel der Medikamentenampulle zu bleiben, könnte im An-Zustand, wie bereits beschrieben, der Füllstand geprüft werden. Im Aus-Zustand könnte mit einer zweiten Beleuchtung, wie einer Auflichtbeleuchtung, die Etikettenbeschriftung des Medikamentes mit der Lotnummer und dem Mindesthaltbarkeitsdatum auf Richtigkeit geprüft werden. Diese Prüfung ist ausschließlich mit der schwarzen, matten Streuscheibe möglich, da diese den Großteil des auftreffenden Lichts absorbiert. Bei Hintergrundbeleuchtungen mit milchigem Diffusor kommt es zu störenden Reflexionen, die eine genaue Etikettenprüfung verhindern. Durch die Kombination aus zwei Beleuchtungen an einer Prüfstation können zwei Prüfaufgaben nacheinander mit nur einer Kamera durchgeführt werden. Hiermit lassen sich zum einen Kosten einsparen, da eine Kamera und eine Software zwei Prüfaufgaben durchführen. Zum ande-



Neben der klassischen Hintergrundbeleuchtung mit einer milchigen Streuscheibe (rechte Bildhälfte) gibt es neuerdings auch eine weitere Ausführungsform mit einem matten, schwarzen Diffusor.

Die schwarze, matte Diffusorscheibe der Hintergrundbeleuchtung lässt das Licht der LEDs im eingeschalteten Zustand passieren. Wenn sich die Beleuchtung im ausgeschalteten Zustand befindet, dient die schwarze, matte Diffusorscheibe als optimaler nicht-reflektierender Hintergrund.



ren wird der Prüfprozess beschleunigt, da das Bauteil nach der ersten Prüfung nicht an eine zweite Station transportiert werden muss. Die Kosten- sowie die Platz- und Zeiterparnis gelten bei der Optimierung und Weiterentwicklung von optischen Gesamtsystemen als größtes Ziel.

Prüfung einer medizinischen Schlauchverbindung

Eine weitere Anwendung findet sich in der Prüfkontrolle von Klebeverbindungen im Bereich der Medizintechnik wieder. Mehrteilige Medizinprodukte, die aus Kunststoff bestehen, werden aus Material-, Kosten- und Produktionsgründen zumeist mit einem fluoreszierenden Kleber verbunden. Um zu prüfen, ob dieser an der richtigen Stelle und in ausreichender Menge aufgetragen wurde, kommen UV-Beleuchtungen zum Einsatz, die den Kleber durch Fluoreszenz sichtbar machen.

Kombination UV-Auflichtbeleuchtung und Hintergrundbeleuchtung

In dem zuvor beschriebenen Aufbau aus der Kombination von einer Hintergrund- und einer Auflichtbeleuchtung wird die UV-Beleuchtung im Auflicht positioniert. Bei dem konkreten Beispiel der Produktkontrolle einer medizinischen Schlauchverbindung wird der Kleber im An-Zustand der UV-Auflichtbeleuchtung geprüft und im Aus-Zustand der Hintergrundbeleuchtung mit dem schwarzen Diffusor. Nachdem die Klebeverbindung überprüft wurde, können im nächsten Prüfschritt – jedoch an derselben Prüfstation – die Umrisse der beiden verbundenen Schläuche geprüft werden. Hierfür wird die Auflichtbeleuchtung in den Aus-Zustand und die Hintergrundbeleuchtung in den An-Zustand versetzt. Durch die nun sichtbare Silhouette der Schläuche kann ein

möglicher Knick oder ein Produktionsfehler an der Verbindungsstelle detektiert werden. Der schwarze Diffusor dient daher dazu, die Fehlerquote und zugleich den Pseudoauschuss zu reduzieren, der durch die störenden Reflexionen auftreten kann.

Profit von Optimierung

Im Wesentlichen vereint der schwarze Diffusor zwei Prüfvorgänge an einer Prüfstation, was Platz, Kosten und Zeit spart. Die Platzeinsparung ist wohl am offensichtlichsten, da zwei Beleuchtungen an einer Prüfstation verbaut sind, die für zwei Prüfaufgaben genutzt werden und somit einen weiteren Prüfplatz einsparen. Die Kostenminimierung hängt unmittelbar mit dem fehlenden Prüfplatz zusammen, weil nur eine Kamera, eine Software und ein Arbeitsplatz benötigt werden. Da die zwei Prüfvorgänge direkt nacheinander vollzogen werden können, ohne das Prüfobjekt an einen anderen Prüfplatz transportieren zu müssen, sinkt auch die Taktzeit.

In der Zukunft gilt es weiterhin optische Gesamtsysteme, sowohl im Bereich der Beleuchtungseinheit (Leuchten), der Aufnahmeeinheit (Kamera) als auch der Auswertungs-einheit (Software) weiterzuentwickeln. Anhand des Beispiels des schwarzen Diffusors wird deutlich, dass oft kleine Optimierungen einen großen Profit mit sich bringen. ■

AUTORIN

Deborah Schmoll
Technischer Support

KONTAKT

Falcon Illumination MV GmbH & Co. KG,
Untereisesheim
Tel.: +49 7132 991 69 0
Fax: +49 7132 991 69 10
info@falcon-illumination.de
www.falcon-illumination.de

Kamerashutzgehäuse - Montagelösungen - Zubehör



www.autoVimation.com

Optische Qualitätskontrolle von Tuben, Rohren und Bohrungen: In die Fertigungslinie integriert, liefert der Boro-CIS von Tichawa 360°-Innen-Aufnahmen.



CIS-Systeme für die optische Qualitätskontrolle von innen und außen

Qualitätssicherung von Tuben, Rohren und Profilen

Für die Inspektion von Rohren, Tuben oder Bohrungen aus Glas, Metall oder Kunststoff bietet ein bayrischer Hersteller zwei Contact-Image-Sensoren an. Sie ermöglichen eine Echtzeit-Bildaufnahme für eine durchgängige und digitalisierte Qualitätskontrolle.

Viel effizienter und verlässlicher als die nachträgliche, stichpunktartige Fehlersuche in der industriellen Fertigung ist es, die Qualität direkt und automatisiert während der Produktion sicherzustellen. Mit modernen Industrie-Scannern, die sich in die Fertigungslinie integrieren lassen, können sich Unternehmen durch eine 100-prozentige Fehlerdetektion vor Gewährleistungs- und Haftungsansprüchen schützen.

Contact-Image-Sensoren als Alternative zu Zeilenkameras

Für anspruchsvolle Inspektionsaufgaben hat Tichawa Vision mit Sitz in Friedberg bei Augsburg Contact-Image-Sensoren (CIS) als

Alternative zu herkömmlichen Zeilenkameras entwickelt. Die kompakten CIS basieren auf der Low-Distance-Image-Sensor-Technologie und bestehen aus Lesezeile, Optik und Lichtquelle sowie einer Elektronikbox für die Datenvorverarbeitung. Mit dem Boro-CIS und Ring-CIS hat das Unternehmen seine CIS-Produktfamilie um zwei ganz spezielle Systeme erweitert. Im Innern und an den Außenseiten von Tuben, Rohren und Bohrungen erkennen sie Mängel in Echtzeit. Für diesen Anwendungsbereich waren bis dato lediglich Endoskoptechniken zur manuellen Offline-Kontrolle, klassische Kamerasysteme ohne 360°-Abbildung oder CIS für begrenzte Rohrlängen verfügbar.

Rundum-Scan bis auf den Tubenboden

Der Boro-CIS eignet sich für Tuben, runde oder eckige Rohre und Profile aus Laminat, Kunststoff, Metall und Glas mit Innendurchmessern von 10 bis 80 mm. Zahnpastatuben und Deospray-Dosen lassen sich damit ebenso überprüfen wie Pneumatik- und Hydraulikzylinder.

Für die Qualitätskontrolle taucht der Sensorkopf bis zu 250 mm in die Tube ein, beleuchtet die Innenseite und scannt das Innere des Prüflings komplett ab, optional auch den Tubenboden. Schadhafte Nähte, Lack- und Beschichtungsfehler detektiert der Sensor wie auch Kratzer, Späne, Blasen oder Verformungen und Fremdpartikel.

Gerade im Bereich Gesundheit und Körperpflege ist die 100-Prozent-Inspektion enorm wichtig. Gelangen beispielsweise Metallspäne in eine Hautcreme, sind Rückrufaktionen und Rufschädigung die Folge und für das betroffene Unternehmen weit teurer

als die Investition in die automatisierte Überwachung des Produktionsprozesses, die sich in Anbetracht der Personalkosten für die stichprobenhafte Sichtprüfung ohnehin rechnet.

Inspektion von zehn Tuben oder Rohren pro Sekunde

Die Qualitätskontrolle mit dem Boro-CIS lässt sich bei Transportgeschwindigkeiten von bis zu 60 Metern pro Minute problemlos in die Produktionslinie integrieren. Dabei schafft der CIS zehn Tuben oder Rohre pro Sekunde. Die Echtzeitkontrolle während der Produktion geht schnell und reduziert die Ausfallrate, weil sich während des Fertigungsprozesses entsprechende Rückschlüsse ziehen, der Prozess optimieren und damit auch Stillstandszeiten durch rechtzeitiges Handeln vermeiden lassen.

Je nach Stand der Vernetzung können Unternehmen die Qualitätsdaten aus den Echtzeitmessungen entlang der Wertschöpfungskette nutzen, um fehlerhafte Produkte automatisch auszusortieren und darüber hinaus in internen und externen Folgeprozessen zu integrieren. Wenn die produzierenden Prozesse selbst um die Qualität wissen, können sie sich fortlaufend korrigieren und einregeln. Eine frühzeitige Fehlererkennung und höhere Präzision sind die Folge. Darin stecken Innovations- wie auch Einsparpotenziale.

CIS erstellen verzerrungsarme Objektabbildungen

Im Gegensatz zu Zeilenkameras bilden CIS-Geräte mit ihren Linsenarrays (Selfoc-Linse) die zu scannenden Objekte 1:1 ab und liefern damit verzerrungsarme Objektabbildungen. Mit einer Ringkamera ausgestattet, erstellt der Boro-CIS Rundum-Innenaufnahmen mit einer Auflösung von 50 bis 600 dpi, entsprechend einer Pixelgröße von 0,04 bis 0,5 mm. Die aufgenommenen Bilddaten werden in der Elektronikbox weiterverarbeitet und nach dem Weißabgleich im standardisierten Camera-Link-Format (CL) erstellt, zum Beispiel als 8-Bit-Datei. Wahlweise kann die Darstellung monochrom (schwarz/weiß) oder farbig (RGB) erfolgen.

Mit den vielfältigen Beleuchtungsoptionen eignet sich die Qualitätsprüfung mit dem Boro-CIS für durchsichtige Rohre, beispielsweise aus Glas oder Plexiglas, wie auch für undurchsichtige aus Metall oder Kunststoff. Eine weitere Besonder-

heit ist die UV-Option, die eine Magnetpulver-Rissprüfung nach DIN 9934-1 ermöglicht: Durch zusätzlich eingesetztes UV-Licht erfolgt die kontrastreiche Detektion von Staub und die klare Unterscheidung zwischen Kunststoff und Metall.

Qualitätskontrolle auch in rauen Produktionsumgebungen

Mit Schnittstellen wie RS-232 zur Steuerung, RS-422 für die serielle Datenübertragung oder CL für die Bilddaten lässt sich die automatisierte Qualitätskontrolle mit dem CIS problemlos in Fertigungslinien integrieren. Auch raue Produktionsumgebungen stellen keine Hürde dar: Durch seine langbrennweitige Optik liefert der Sensor auch dann fehler- und störungsfreie Bilder. Zudem ist die Optik verstellbar und damit für variable Rohrweiten in der Fertigungslinie geeignet.

Die Außenseiten von Tuben überprüfen

Wollen Unternehmen auch die Außenseiten von Tuben, Rohren und Bohrungen automatisiert auf Mängel überprüfen, können sie den Ring-CIS von Tichawa mit in die Fertigungslinie aufnehmen. Der neuartige Sensorring mit Acht-Kamera-System umschließt das Bauteil und nutzt die produktionsbedingte Bewegung für 360°-Aufnahmen. Das patentierte Stitching-Verfahren ist für jede Profilform geeignet – unabhängig von Länge

und Durchmesser, ob fix oder variabel, rund oder eckig. Die Sensorgeometrie passt sich der Profilform an und zentriert das Prüfobjekt während des Schiebens durch den Ring-CIS. Wie bei der Inneninspektion sind ein- oder mehrfarbige Aufnahmen mit bis zu 600-dpi-Auflösung möglich, auch in rauen Umgebungen – nur schneller: Statt 60 Meter pro Sekunde liefert der Ring-CIS noch bei Transportgeschwindigkeiten von bis zu 600 Metern in der Minute gute Ergebnisse.

Fazit

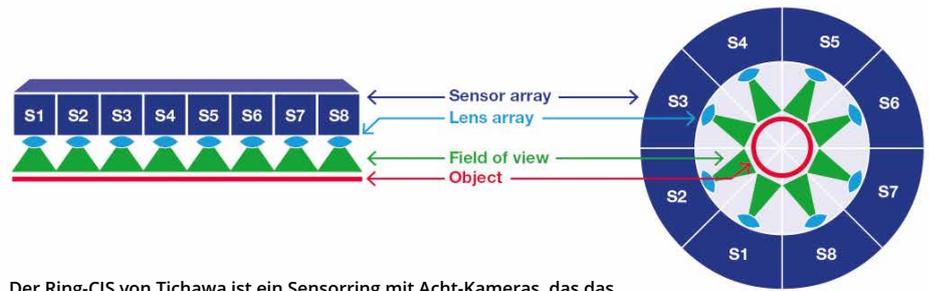
Die Rohr- und Profilinspektion mit CIS-Systemen ist der nachgelagerten Sichtprüfung überlegen. Die automatisierte Qualitätskontrolle liefert Echtzeit-Aufnahmen und ermöglicht eine 100-prozentige Fehlererkennung. Die Systeme amortisieren sich schnell, verbessern mit fortschreitender industrieller Vernetzung die Produktionsprozesse und erhöhen damit Effektivität und Produktqualität. Und nicht zuletzt steigern fehlerfreie und hochwertige Produkte die Kundenzufriedenheit. ■

AUTOR

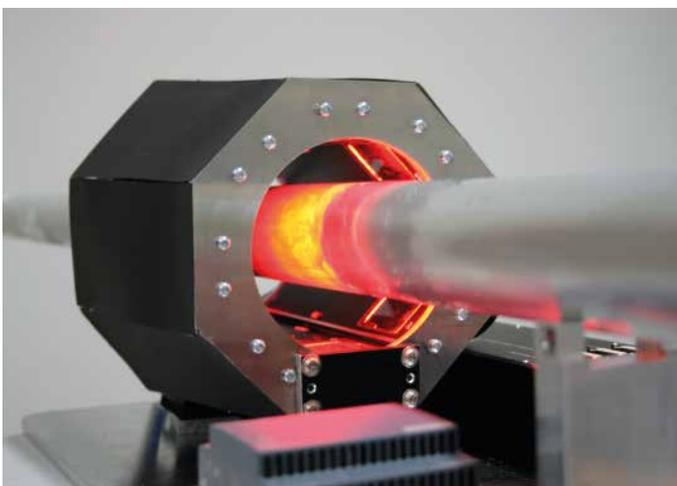
Dr. Nikolaus Tichawa
Geschäftsführer von
Tichawa Vision

KONTAKT

Tichawa Vision GmbH, Friedberg
Tel.: +49 821 455 55 30
info@tichawa.de
www.tichawa-vision.de



Der Ring-CIS von Tichawa ist ein Sensorring mit Acht-Kameras, das das Bauteil umschließt und die produktionsbedingte Bewegung für 360°-Aufnahmen nutzt.



Der Ring-CIS von Tichawa überprüft die Außenseiten von Rohren und Profilen bei Transportgeschwindigkeiten von bis zu 600 Metern pro Minute in der Fertigungslinie.

Ein Mitarbeiter im IQ-Labor von Framos kalibriert einen Image Signal Processor, um eine optimale Bild- und Farbqualität zu erreichen und gleichzeitig unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden.

Kalibrieren des ISP für eine höhere Bildqualität

Tuning des Signalprozessors für bessere Aufnahmen

Um eine optimale Bildqualität zu erzielen und unerwünschte Effekte im Bild zu vermeiden, sollte der Image Signal Processor (ISP) kalibriert und abgestimmt werden. Dieses ISP-Tuning stellt sicher, dass das Bildverarbeitungssystem optimal funktioniert.

Jede Komponente eines Bildverarbeitungssystems, wie Bildsensoren, Objektive, optische Filter, Lichtquellen, hat ganz spezifische Eigenschaften, die die Gesamtbildqualität und damit auch die erforderliche ISP-Konfiguration beeinflussen. Um eine optimale Bild- und Farbqualität zu erreichen und gleichzeitig unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden, muss der ISP kalibriert und abgestimmt werden. Der ISP-Block auf den Nvidia-Jetson-Plattformen spielt dabei eine Schlüsselrolle, da hier Korrekturen und Verbesserungen an den Bilddaten vorgenommen werden können ohne CPU und GPU zu belasten. Auf diese Weise lässt sich die Effizienz des Gesamtsystems erhöhen.

Die Kalibrierung des ISP und seine sukzessive Abstimmung unter Berücksichtigung vieler Betriebsbedingungen ist eine komplexe, zeitaufwändige Aufgabe. Sie erfordert spezielle Messgeräte, fachspezifisches Know-

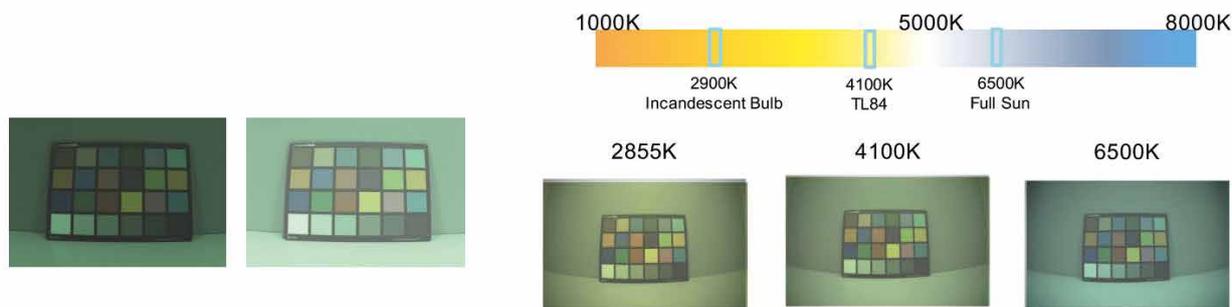
how und ein tiefes Verständnis der jeweiligen Plattformen. Framos hat ein eigenes Labor für das Tuning eingerichtet, das mit allen notwendigen Tools ausgestattet ist. Mit dem entsprechenden Fachwissen zur Kalibrierung und zum ISP-Tuning kann das dortige Team auch für spezielle Anwendungen die jeweils optimale Bildqualität erzielen.

Jedes Bildverarbeitungssystem wird individuell konfiguriert

Zur Kalibrierung einer bestimmten Konfiguration, bestehend aus Sensormodul, Objektiv und optischen Filtern, stellen die Experten das Setup des Kunden im Labor nach, um die erforderlichen Messungen durchzuführen und in nachgelagerten Schritten die optimalen ISP-Konfigurationswerte zu ermitteln. Hierbei wird eine Vielzahl von Parametern überprüft und korrigiert, zum Beispiel die Werte der Farbkorrekturmatrix, die Einstellungen für die Schwarzwertkompensation, die Bereiche für den automatischen Weiß-/Farbabgleich,



Links: Aufnahme vor der Kalibrierung des Image Signal Processors (RAW). Rechts: Aufnahme nach der Farbkorrektur und dem Weißabgleich.



Der Image Signal Processor muss unter anderem auf die eingesetzte Beleuchtung kalibriert werden. Wie stark der Einfluss ist, zeigen die beiden Bilder. Links: Auswirkung der Beleuchtung auf die Bildhelligkeit. Rechts: Einfluss der Farbtemperatur auf die Bilder.

die Parameter für Shading/Randlichtabfall, die Einstellungen für die Rauschunterdrückung und die Werte für den Schärfalgorithmus, um nur einige zu nennen.

Jeder CMOS-Sensor ist einzigartig und wird zunächst analysiert

Die meisten Farbbildsensoren verwenden einen Bayer-Filter, der auf einer Rot-Grün-Grün-Blau (R-G-G-B)-Farbfilteranordnung basiert. Über jedem Pixel befindet sich ein Farbfilter. Der Sensor nimmt ein modifiziertes monochromes (RAW-) Bild auf, das die gefilterten Pixeldaten mit den Farbinformationen enthält. Das daraus resultierende Farbbild wird mittels verschiedener Farbbinterpolationsalgorithmen erzeugt, die im ISP implementiert sind. Dies wird als Demosaicing des Bildes bezeichnet und ist ein digitaler Prozess zur Rekonstruktion eines vollständigen Farbbildes aus den RAW-Daten des Farbfilter-Arrays.

Die Gesamtdurchlässigkeit und das Übertragungsspektrum dieser Farbkanäle sind bei jedem CMOS-Sensor unterschiedlich. Das nach dem Demosaicing-Prozess erzeugte Farbbild ist bei weitem nicht optimal und stimmt nicht mit dem überein, was das menschliche Auge unter den gleichen Bedingungen wahrnimmt. Um diese Unstimmigkeit zu korrigieren, wird für das Erstellen nachfolgender Bilder eine Farbkorrekturmatrix (Color Correction Matrix, CCM) berechnet und angewendet. Auf diese Weise erhält der Benutzer bei seiner Anwendung eine wahrheitsgetreuere Farbinformation.

Farbbilder werden durch äußere Bedingungen beeinflusst, insbesondere durch die Beleuchtung, die die Helligkeit und den Farbton eines Bildes verändert. Jede Änderung der Beleuchtungsstärke wirkt sich auf die Helligkeit der aufgenommenen Bilder aus. Das kann zu schlechten Ergebnissen führen, wenn dies vor der weiteren Bildanalyse in der Kundenanwendung nicht berücksichtigt wird.

Außerdem hat die Farbtemperatur der Beleuchtung einen großen Einfluss auf die Farbwiedergabe. Daher ist es notwendig, Auto-Exposure- beziehungsweise Auto-Gain-Funktionen anzuwenden, um die notwendige Bildhelligkeit zu erreichen, sowie einen automatischen Weißabgleich durchzuführen, um die Farbtemperatur der Beleuchtung

auszugleichen und optimale Ergebnisse zu erzielen.

Ein gut abgestimmter ISP kann durch automatischen Weißabgleich unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen (z.B. Glühbirne, Nachmittagssonne, Leuchtstoffröhre) ausgleichen. Die Abstimmung der ISP-Blöcke für das Demosaicing, die Farbkorrektur (CCM) und den Weißabgleich führt zu einer deutlich besseren Farbwiedergabe der aufgenommenen Bilder.

ISP-Tuning betrifft nicht nur die Beleuchtung und Farbwiedergabe

Der ISP-Tuningprozess umfasst mehrere Schritte, beginnend mit der Validierung des Modultreibers. Danach geht es darum, Sensorsteuerungen und Registerinstellungen zu analysieren. In dieser Phase legt das Framos Team die Schwarzwert-Einstellung, die Lens-Shading-Korrektur (Vignettierung), die Farbwiedergabe, den Weißabgleich, das Rauschverhalten und die Bildschärfe fest. Anschließend werden kundenspezifische Anforderungen an die Abbildung genauer untersucht, um die Feinabstimmung der ISP-Konfiguration für die Serienproduktion abzuschließen.

Den passenden Sensor schnell finden

Bei der Entwicklung einer Bildverarbeitungsanwendung ist es notwendig, die relevanten Eigenschaften der Bildsensoren zu erproben und zu validieren. Zu diesen gehören

- Auflösung,
- Bildrate,
- optisches Format,
- Shutter-Technologie,
- Low-Light- oder HDR-Leistung.

Das Framos Sensor Module Ecosystem (FSM) ermöglicht es Anwendern, Sensoren zu testen und geeignete Komponenten für die Anwendung auszuwählen. Der Bildsensor ist dafür zuständig, das verfügbare Licht zu erfassen und zu digitalisieren, bevor das Bild – beginnend mit dem ISP – die digitale Signalkette durchläuft. Somit ist es wichtig, einen Sensor zu wählen, der optimale Bilder liefert und die Anforderungen der Anwendung am besten erfüllt.

Vision-Ingenieure und -Entwickler können anhand des Produktportfolios, das im FSM

Ecosystem unterstützt wird, viele und auch neueste Bildsensoren evaluieren und effizient einen Proof-of-Concept erstellen, um ihre Ideen und Konzepte zu validieren. In Zusammenarbeit mit Trägerplatten-Partnern und entsprechenden Schaltplänen für Begleitplatten kann eine kundenspezifische Lösung für die Produktion von Prototypen, für Beta-Tests und schließlich für die Serienproduktion mit eben diesen Framos Sensormodulen entwickelt und hergestellt werden.

Das FSM Ecosystem umfasst eine große Auswahl an Modulen mit Rolling- oder Global-Shutter-Sensoren von Herstellern wie Sony und Pixalis mit Auflösungen von 0,4 bis 24 MP. Jedes FSM kann direkt mit den Nvidia-Jetson-SOM-Entwicklungsboards über den Pixelmate-Anschluss von Framos oder mit den entsprechenden Sensor- (FSA) und Prozessor-Adaptoren (FPA) verbunden werden.

Die Entwicklungskits enthalten alle notwendigen Hardware- und Software-Komponenten für die schnelle und einfache Bildaufnahme sowie Nutzung der Bilddaten. Mit dieser Lösung können Entwickler, auch ohne Expertenwissen zur Kameraentwicklung, die beste Performance erzielen und sich voll auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren, um innovative Vision-Anwendungen schneller auf den Markt zu bringen.

Fazit

In immer mehr Vision-Anwendungen steht der ISP im Mittelpunkt, um die Bildqualität zu verbessern und Analysen "on the Edge" durchzuführen. Entsprechende Geräte sind in der Lage, einen Großteil der Bildvorverarbeitung in diskreten und hocheffizienten Signalprozessoren durchzuführen, CPU und GPU zu entlasten und somit das Gesamtsystem deutlich effizienter und performanter zu machen. Dabei die ISPs effektiv zu nutzen und das Optimum aus einem Vision-System herauszuholen, hilft das Kalibrieren des Signalprozessors. ■

AUTOR

Prashant Metha

Senior Field Application Engineer bei Framos

KONTAKT

Framos GmbH, Taufkirchen
Tel.: +49 89 710 667 0
info@framos.com
www.framos.com



Viele Anwender zögern, neuronale Netze einzusetzen, weil sie deren Entscheidungsfindung nicht nachvollziehen können.

Software macht KI-Entscheidungen erklärbar

Die Qualität eines neuronalen Netzes bestimmen und verstehen

Mit Hilfe von statistischen Analysen und einer sogenannten Confusion Matrix ist es möglich, die Qualität eines trainierten neuronalen Netzes zu bestimmen und verstehen zu können. Um solche Werkzeuge entwickeln zu können, forscht und arbeitet IDS Imaging Development auf diesem Gebiet zusammen mit Instituten und Universitäten. Damit soll die Einstiegshürde sinken, künstliche Intelligenz dort einzusetzen, wo die regelbasierte Bildverarbeitung an ihre Grenzen stößt.

Tatsache ist, dass heute schon jeder in der Lage ist, eigene KI-basierte Bildverarbeitungsanwendungen zu entwerfen, auch ohne spezielle Kenntnisse in künstlicher Intelligenz und der ebenfalls notwendigen Anwendungsprogrammierung. Und während künstliche Intelligenz viele Arbeitsprozesse beschleunigen und Fehlerquellen minimieren kann, ermöglicht Edge Computing gleichzeitig den Verzicht auf teure Industrie-Computer und die komplexe Infrastruktur, die für eine Hochgeschwindigkeits-Bilddatenübertragung erforderlich wäre.

KI beziehungsweise maschinelles Lernen (ML) funktioniert ganz anders als die klassische, regelbasierte Bildverarbeitung. Damit ändert sich auch die Herangehensweise und Bearbeitung von Bildverarbeitungsaufgaben. Die Qualität der Ergebnisse ist nicht mehr das Produkt eines manuell entwickelten Programmcodes durch einen Bildverarbeitungsexperten, so wie das bisher der Fall war, sondern wird durch den Lernprozess der eingesetzten neuronalen Netze mit geeigneten Bilddaten bestimmt. Mit anderen Worten, die zur Prüfung relevanten Objekt-

merkmale werden nicht mehr durch vorab definierte Regeln vorgegeben, sondern der KI muss in einem Trainingsprozess beigebracht werden, diese selbst zu erkennen. Und je variantenreicher die Trainingsdaten, desto eher erkennen die ML-Algorithmen später im Betrieb die wirklich relevanten Merkmale. Doch was sich überall so einfach anhört, führt nur mit ausreichend Fachwissen und Erfahrung zum gewünschten Ziel.

Der Einsatz von KI erfordert andere Schlüsselkompetenzen

Ohne ein geschultes Auge für die richtigen Bilddaten werden auch hier Fehler auftreten. Das bedeutet, dass die Schlüsselkompetenzen für die Arbeit mit Machine-Learning-Methoden nicht mehr dieselben sind wie die für die regelbasierte Bildverarbeitung. Aber nicht jeder hat die Zeit oder die Manpower, sich ins Thema von Grund auf einzulesen, um neue Schlüsselkompetenzen für die Arbeit mit Machine-Learning-Methoden aufzubauen. Das



Künstliche Intelligenz beruht auf Mathematik und Statistik. Software-Werkzeuge helfen diese zu visualisieren und nachvollziehbar zu machen.«

ist leider das Problem mit neuen Dingen – sie lassen sich nicht direkt produktiv nutzen. Und wenn sie tatsächlich ohne viel Aufwand gute Ergebnisse liefern, die sich aber leider nicht eindeutig nachvollziehen lassen, traut man der Sache nicht.

Entscheidungen sind nur schwer nachvollziehbar

Als rational denkender Mensch möchte man wissen, wie diese KI-Vision funktioniert. Doch ohne erkennbare, nachvollziehbare Erklärun-

gen sind Ergebnisse schwierig zu bewerten. Das Vertrauen in eine neue Technologie basiert auf den Kompetenzen und Erfahrungen, die manchmal über Jahre aufgebaut werden müssen, bevor man weiß, was eine Technologie kann, wie sie funktioniert, wie man sie einsetzt und auch wie man sie kontrolliert. Erschwerend kommt hinzu, dass die KI-Vision einem etablierten System gegenübersteht, wofür in den vergangenen Jahren mit Wissen, Dokumentation, Trainings, Hardware, Software und Entwicklungsumgebungen passende Umgebungsbedingungen geschaffen wurden. KI kommt dagegen noch sehr roh und puristisch daher, und trotz der bekannten Vorteile und der hohen erreichbaren Genauigkeit sehender KI gestaltet sich eine Diagnose im Fehlerfall oftmals schwierig. Die fehlende Einsicht in die Arbeitsweise beziehungsweise unerklärliche Ergebnisse sind die Kehrseite der Medaille, was die Verbreitung der Algorithmen hemmt.

KI-Entscheidungen sind mathematische Ergebnisse

Die Arbeitsweise von neuronalen Netzen wird deshalb fälschlicherweise oft als Blackbox wahrgenommen, deren Entscheidungen nicht nachvollziehbar sind. „Obwohl DL-Modelle zweifellos komplex sind, sind sie keine Blackboxen. Tatsächlich wäre es zutreffen-

der, sie als Glaskästen zu bezeichnen, denn wir können buchstäblich hineinschauen und sehen, was jede Komponente tut.“ [Zitat aus „The black box metaphor in machine learning“.] Inferenz-Entscheidungen neuronaler Netze basieren zwar nicht auf klassischen nachvollziehbaren Regeln, und die komplexen Wechselwirkungen ihrer künstlichen Neuronen sind für den Menschen vielleicht nicht einfach erfassbar. Dennoch sind sie Ergebnisse eines mathematischen Systems und damit reproduzierbar und analysierbar. Es fehlen nur (noch) die richtigen Werkzeuge, die uns unterstützen. In diesem Bereich der KI ist noch viel Luft nach oben. Hier zeigt sich, wie gut die verschiedenen KI-Systeme am Markt den Anwender bei seinem Vorhaben unterstützen können.

Software macht künstliche Intelligenz erklärbar

Deshalb forscht und arbeitet IDS Imaging Development auf diesem Gebiet zusammen mit Instituten und Universitäten, um genau diese Werkzeuge zu entwickeln. Das IDS NXT ocean Inferenzkamarasystem beinhaltet bereits die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit. Statistische Analysen mit einer sogenannten Confusion Matrix ermöglichen es, die Qualität eines trainierten neuronalen Netzes zu bestimmen und zu verstehen. Nach dem Trainings-

JUST READ IT

Wiley Industry News

WIN NEWS

www.WileyIndustryNews.com

WILEY

prozess lässt sich das Netz mit einer vorher festgelegten Bilderserie mit bereits bekannten Ergebnissen validieren. Dabei werden die erwarteten und die tatsächlich durch die Inferenz bestimmten Ergebnisse in einer Tabelle gegenübergestellt. Dadurch wird klar, wie oft die Testobjekte für jede trainierte Objektklasse richtig oder falsch erkannt wurden. Aus diesen Trefferraten kann dann eine Gesamtgüte des trainierten CNN angegeben werden. Darüber hinaus zeigt die Matrix deutlich, wo die Erkennungsgenauigkeit noch zu gering für den produktiven Einsatz sein könnte. Jedoch zeigt sie nicht, woran das liegt.

Heatmap zeigt Aufmerksamkeit der KI

Hier kommen die Attention Map ins Spiel, die eine Art Wärmebild zeigt, das die Bereiche beziehungsweise Bildinhalte hervorhebt, die vom neuronalen Netz die meiste Aufmerksamkeit bekommen und damit die Entscheidungen beeinflussen. Beim Trainingsprozess in IDS NXT Lighthouse wird das Erstellen dieser Visualisierungsform basierend auf den im Training erzeugten Entscheidungspfaden aktiviert, wodurch das Netz von jedem Bild bei der Analyse eine solche Heat Map erzeugen kann. Dadurch können kritische oder unerklärbare Entscheidungen der KI leichter nachvollzogen werden, um letztendlich die Akzeptanz neuronaler Netze im industriellen Umfeld zu erhöhen.

Bias erkennen und vermeiden

Ebenso lassen sich damit Datenverzerrungen, sogenannte Bias, erkennen und vermeiden, durch die ein neuronales Netz bei der Inferenz voreingenommene Entscheidungen treffen würde. Denn ein neuronales Netz wird nicht von selbst schlau. Mangelnde Qualität des Inputs führt zu mangelhaftem Output. Ein KI-System ist, um Muster zu erkennen und Vorhersagen zu treffen, auf Daten angewiesen, von denen es sein Verhalten lernt. Wenn eine KI in unter Laborbedingungen mit Daten aufgebaut wird, die nicht repräsentativ für die späteren Anwendungen sind, oder noch

		Prediction Label					
		Hexagon Socket Cylinder Head Screw	Hexagon Socket Pan Head Screw	No Screw	Torx Cylinder Head Screw	Torx Pan Head Screw	Recall
True Label	Hexagon Socket Cylinder Head Screw	74	0	0	0	1	98,7 %
	Hexagon Socket Pan Head Screw	0	75	0	0	0	100 %
	No Screw	0	0	75	0	0	100 %
	Torx Cylinder Head Screw	0	0	0	75	0	100 %
	Torx Pan Head Screw	0	0	0	0	75	100 %
Precision		100 %	100 %	100 %	100 %	98,7 %	99,73 %

Diese Confusion Matrix eines CNN, das Schrauben klassifiziert, zeigt, wo die Erkennungsqualität durch nachtrainieren mit weiteren Bildern verbessert werden kann.

schlimmer, wenn die Muster in den Daten Vorurteile widerspiegeln, wird das System diese Vorurteile adaptieren.

KI auf Schwächen abklopfen

Mit solchen Software-Werkzeugen können Anwender das Verhalten und die Ergebnisse der KI-Vision direkter auf Schwächen innerhalb des Trainingsdatensatzes zurückführen und diese gezielt ausbessern. So wird die KI für jeden erklär- und nachvollziehbarer. Denn im Grunde handelt es sich nur um Mathematik und Statistik. Der Mathematik zu folgen und sie zu verstehen, ist zwar oft nicht einfach, aber mit Confusion Matrix und Heatmaps gibt es Werkzeuge, um Entscheidungen und Gründe für Entscheidungen sichtbar und damit verständlich zu machen.

Standards und Zertifizierungen erhöhen Erklärbarkeit weiter

KI-Vision richtig eingesetzt hat das Potenzial, viele Bildverarbeitungsprozesse zu verbessern. Doch die Bereitstellung von Hardware allein reicht nicht aus, um die Industrie flächendeckend mit der KI zu infizieren. Die Hersteller sind gefordert, Anwender zu unterstützen, indem sie ihre Kompetenzen in Form von benutzerfreundlicher Software und integrierten Prozessen weitergeben. Verglichen mit den bewährten Verfahren, die über Jahre gereift sind und sich mit viel Dokumentation, Wissenstransfer und vielen Software-Werkzeugen einen treuen Kundestamm aufgebaut haben, gibt es für die KI noch viel Nachholbedarf, ist aber schon im Aufbau. Auch an Standards und Zertifizierungen wird aktuell gearbeitet, um die Akzeptanz und Erklärbarkeit weiter zu steigern und die KI an den großen Tisch zu holen.

Mit IDS NXT ocean ist bereits ein KI-System mit einer umfangreichen und nutzerfreundlichen Software-Umgebung verfügbar, das jede Anwendergruppe schnell und einfach als Industriewerkzeug einsetzen kann – auch ohne tiefgehende Kenntnisse in Machine Learning, Bildverarbeitung oder Anwendungsprogrammierung. ■

AUTOR
Heiko Seitz
Technischer Autor

KONTAKT
IDS Imaging Development Systems GmbH,
Obersulm
Tel.: +49 7134 961 96 0
info@ids-imaging.de
www.ids-imaging.de



Die Heatmap visualisiert eine hohe Aufmerksamkeit bei dem Chiquita-Label der Banane und ist damit ein gutes Beispiel für einen Daten-Bias: Durch falsche oder zu wenig repräsentative Trainingsbilder von Bananen hat das verwendete Convolutional Neural Network (CNN) gelernt, dass dieses Label auf eine Banane schließen lässt.



Objektive für mehrere Fokustiefen

Edmund Optics hat sein Angebot um zwei neue Objektivserien von Adloptica erweitert, die neue Anwendungen im Bereich der Laseroptik ermöglichen. Die Serien beinhalten Objektive, die die optischen Aberrationen verringern und verbesserte Fokussierung beziehungsweise mehrere Fokustiefen für eine fortschrittliche Materialbearbeitung bieten.

Die aplanatischen Aplano-XX-Objektive von Adloptica wurden für Ultrakurzpuls-Festkörperlaser oder -Faserlaser entwickelt und sind für 800 nm (Ti:Saphir) und 1030 nm (Tb:dotiert) optimiert. Sie kompensieren sphärische Aberration und Koma, wenn Licht in Glas, Saphir, Siliziumkarbid, Silizium, PMMA oder anderen transparenten Materialien fokussiert wird. Die Objektive eignen sich für die Mikrobearbeitung von Glas, die 3D-Nanofabrikation, Hohlleiter-Recording und das selektive Laser-Ätzen.

www.edmundoptics.de



Einsteiger-SWIR-Kameras für kompakte Systeme

Alvim-SWIR Core-Module mit USB3 Vision oder MIPI-CSI-2 Schnittstelle sind derzeit die kleinsten am Markt verfügbaren industrietauglichen, ungekühlten Kurzwelleninfrarot-Kameras (SWIR) mit geringem Stromverbrauch. Aufgrund ihres modularen Designs und der verfügbaren Boardlevel-Variante eignen sie sich für den Einsatz in kompakten OEM-Systemen für preissensitive Embedded- und Machine-Vision-Anwendungen.

Die Alvim-SWIR-Modelle der 1800er-Serie verfügen über die aktuelle SenSWIR-Sensorik von Sony mit VGA- (IMX991) und SXGA-Auflösung (IMX990), die einen Spektralbereich von 400 bis 1.700 nm bei hoher Quanteneffizienz abdeckt. Die Architektur der digitalen InGaAs-Sensoren ermöglicht Pixelgrößen von 5µm und eine hohe Bildhomogenität.

www.alliedvision.com



Weitere Sony-Sensoren für 10GigE-Kameraserie

Die ersten Modelle der MV-Bluecougar-XT Kameraserie wurden mit den Highspeed-Sensormodellen IMX530 (24,6 MP), IMX531 (20,4 MP) und IMX532 (16,2 MP) aus der CMOS-Serie Pregius S Gen4 von Sony ausgestattet. Mit IMX535 (12,4 MP), IMX536 (8,1 MP) und IMX537 (5,1 MP) sind nun weitere Sensoren verfügbar.

Durch die BSI-Pixel-Architektur (back side illumination) befindet sich die Elektronik auf der Rückseite der Sensoren und begrenzt die lichtempfindliche Fläche nicht. Damit erreichen die Sensoren ein besseres Bildergebnis bei einer Pixelgröße von 2,74 µm. Die MV-Bluecougar-XT Kameraserie kombiniert die Leistungsfähigkeit der Bildsensoren mit einem 10GigE Interface und IP67-Gehäuse. Durch die Nettodatenrate von 1.245 MB/s erreichen die Kameras bei einer Auflösung von 24,6 MP Frameraten von 50,5 FPS.

www.matrix-vision.de



27 Spotbeleuchtungen für die industrielle Bildverarbeitung

Vision & Control stellt 27 neue Spotbeleuchtungen mit gerichteter Lichtführung vor. Durch ihren modularen Aufbau können Anwender die für ihre Zwecke ideale Beleuchtungsvorrichtung konfigurieren. Die Geräte der Produktfamilien SLE, SLB und SLF bauen allesamt auf der LED-Technik auf und kommen mit geringer Stromaufnahme aus. Zudem bleiben die Leuchtmittel auch im Dauerbetrieb kühl – das ermöglicht eine lange Lebensdauer. Ihr homogenes Lichtfeld erleichtert das Erfassen komplexer Objekte.

Je nach Modell sind die Spotbeleuchtungen für unterschiedliche Bereiche des Lichtspektrums lieferbar. Zur Verfügung stehen Ausführungen für weißes, blaues, rotes und grünes Licht sowie für den Ultraviolett- und den Infrarotbereich. Kunden können zwischen drei Spotdurchmessern wählen: 100, 150 und 200 mm.

www.vision-control.com



16K-Multifield-TDI-Kamera für mehrere Bilder in einer einzigen Aufnahme

Die Linea-HS-16k-Multifield-TDI-Kamera von Teledyne Dalsa befindet sich nun in Serienproduktion. Sie kann in einer Aufnahme bis zu drei Bilder mit Lichtquellen unterschiedlicher Wellenlänge erfassen. Der Charge-Domain-CMOS-TDI-Sensor mit 16k x (64+128+64) TDI-Arrays und einer Pixelgröße von 5x5 µm verwendet beschichtete dichroitische Filter auf Wafer-Ebene mit geringem spektralem Übersprechen, um die drei Bilder spektral zu isolieren. Die Kamera verfügt außerdem über eine CLHS-Schnittstelle, die bis zu 8,4 Gigapixel pro Sekunde über ein einzelnes Glasfaserkabel liefert.

Die Kamera macht die Aufnahme mehrerer Bilder überflüssig, wodurch der Durchsatz von Inspektionssystemen erhöht und die Fehlererkennung durch das Verringern der Auswirkung mechanischer Vibrationen verbessert wird.

www.teledyne.com

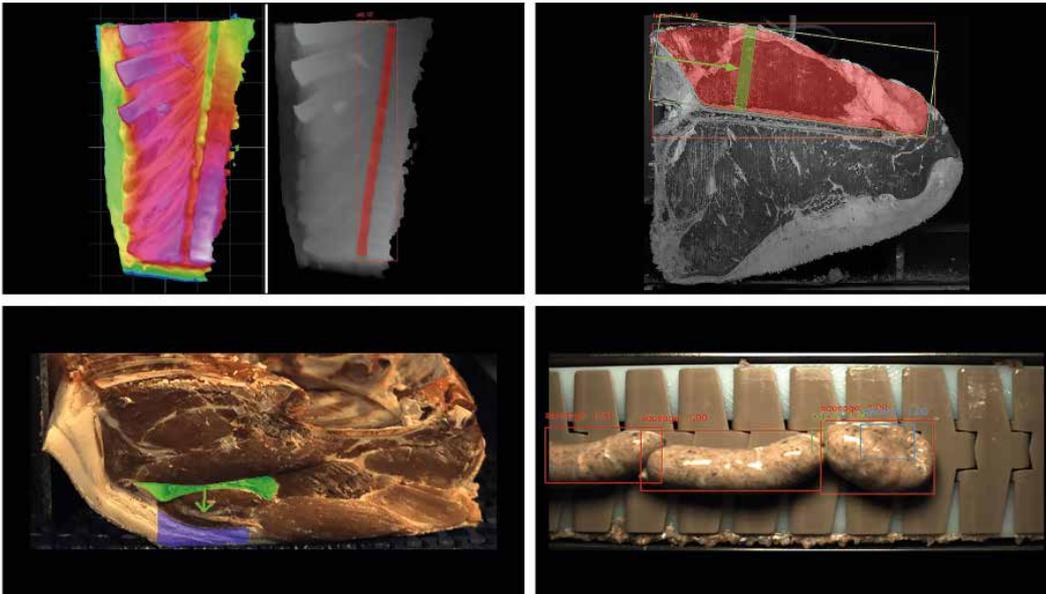


Ultraweitwinkel-Objektiv für High-End-Inspektionsanwendungen

Das Ultraweitwinkel-Objektiv LM3JC10M von Kowa ergänzt die beliebte 2/3-Zoll-10MP-JC10M-Serie. Die 3,7-mm-Optik verfügt über eine hohe optische Qualität und geringe Verzeichnung. Das Broadband Coating ermöglicht eine hohe Transmission vom sichtbaren bis zum NIR-Bereich. Aufgrund asphärischer Linsenelemente bleibt das 3,7-mm-Modell kompakt und zeigt nur eine geringe chromatische Aberration.

Das Objektiv eignet sich für Sensoren mit einer Pixelgröße bis zu 2,5 µm. Somit ist es beispielsweise optimal für Sony IMX536, IMX537 und Onsemi XGS5000. Wegen der hohen Auflösung in Kombination mit dem horizontalen Bildwinkel von 100° kommt es in High-End-Inspektions-, Broadcast- und Surround-View-Anwendungen zum Einsatz.

www.kowa-lenses.com



Ein auf Deep Learning basierendes Inspektionssystem erkennt auch auf Fleisch- oder Wurstwaren Anomalien und Fehlstellen zuverlässig.

Deep Learning für die Inspektion auch ohne KI-Experten nutzen

Schlüsselfertige KI-Lösung für Einsteiger

Eine KI-Lösung ermöglicht es, individuelle Produkte automatisch zu prüfen. Damit der Einstieg in Deep Learning gelingt, bietet ein Bildverarbeitungsunternehmen eine KI-Lösung an, die dem Anwender den Großteil der Einrichtung abnimmt. Dann lassen sich individuelle Produkte oder Bauteile mit stark variierenden Fehlerbildern automatisch prüfen, auch ohne KI-Experten im Unternehmen.

Während Produkte, die nahezu identisch sind und auf Toleranz oder Konformität gemessen werden müssen, mit herkömmlichen Algorithmen zuverlässig geprüft werden können, eignen sich individuellere Produkte entweder für einen erfahrenen visuellen Prüfer oder automatische Prüfsysteme auf Basis von Deep Learning. Die Inspektion von Medizinprodukten beispielsweise profitiert erheblich vom Einsatz der Inspektion mittels Künstlicher Intelligenz (KI). Bei medizinischen Ballons lassen sich so zum Beispiel Defekte wie Risse, Verschmutzungen und Gelrückstände erfassen.

LMI's Factorysmart-KI-Lösungen bieten schlüsselfertige Lösungen, mit der Anwender die Vorteile von KI in der Produktion nutzen können. Das Unternehmen übernimmt die Datenerfassung, die Schulung und Entwicklung von Pipelines, die Gestaltung der Benutzeroberfläche sowie die Kommunikation in der Produktion. Nach der Bereitstellung wird das System weiter gepflegt und optimiert, damit sich die Investition in vollem Umfang auszahlt.

Implementierung einer Deep-Learning-Lösung: die ersten Schritte

Beratung und Bewertung: In einem ersten Beratungsgespräch ermitteln LMIs KI-Experten den Umfang der Prüfaufgabe. Dazu gehören Datenerfassung, Kennzeichnung, anfängliches Modelltraining und eine Machbarkeitsstudie, um zu analysieren, ob eine KI-gestützte Inspektion tatsächlich einen Nutzen für die Produktionslinie bringt.

Sammlung von Rohdaten: Um das KI-basierte Klassifizierungs- oder Anomaliemodell zu erstellen, benötigt LMI einen Datensatz von Inspektionsbildern oder Höhenkarten. Diese werden verwendet, um ein Modell speziell für die jeweilige Anwendung zu trainieren.

Für diesen Zweck können auch Daten aus einem bestehenden Bildverarbeitungssystem verwendet werden, sofern eines vorhanden ist. Oder, wenn es sich um eine neue Anwendung handelt, übernehmen LMIs KI-Spezialisten das Sammeln von Bilddaten vor Ort. Die Dauer der Datenerfassung hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Im Idealfall lassen sich Daten für alle Anwen-

dungsfälle der Inspektion sammeln, um so ein möglichst robustes Inspektionsmodell zu erstellen.

Alle erfassten Daten sind garantiert zu 100 Prozent vertraulich und sicher. LMI ist ausschließlich dazu berechtigt, die Daten für das Erstellen eines trainierten KI-Modells für die spezielle Inspektionsanwendung zu verwenden.

Kennzeichnung von Daten und Vorverarbeitung: Bei der Kennzeichnung wird jedes Bild oder jede Höhenkarte im Datensatz mit einer bestimmten Klassifizierung versehen. Dies kann zum Beispiel die Segmentierung der Bildfläche beinhalten, wenn das System die Fehlerkoordinaten identifizieren soll. In anderen Szenarien, zum Beispiel wenn das zu prüfende Produkt signiert ist, kann die Kennzeichnung in den Dateinamen des Bildes oder der Höhenkarte eingebettet werden.

LMIs KI-Spezialisten befassen sich mit all diesen Szenarien, überprüfen die Rohbilder, um Klassifizierungen zuzuweisen, Defekte/Objekte von Interesse zu markieren sowie Elemente zu identifizieren, die für die Hintergrundentfernung und andere wichtige Bildoperationen erforderlich sind.

Entwurf, Training, Validierung: Nach der Kennzeichnung des Datensatzes beginnt das Training verschiedener Modelle, um das beste oder die besten Modelle für die Anwendung zu ermitteln. In einigen Fällen ist vielleicht eine Vorverarbeitung nötig,

um die Bildgröße, die Bittiefe oder die Zahl der benötigten Prozesse zu reduzieren. Dies verbessert die Trainingsergebnisse. Anspruchsvollere Anwendungen erfordern eine Kombination von Deep-Learning-Modellen, die mit einem herkömmlichen Algorithmus verbunden werden, um eine Prüfung oder eine andere Messung durchzuführen.

LMI entwirft und konfiguriert die am besten geeignete KI-Modell-Pipeline für Ihre Anwendung. Die Leistung der KI-Modellpipeline wird dann validiert und gemessen, um eine Grundlage für zukünftige Verbesserungen zu schaffen.

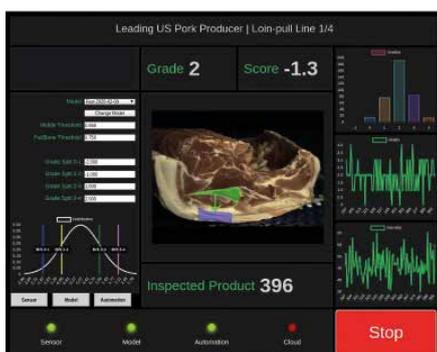
Erstellung eines Machbarkeitsberichts: LMI erstellt dann einen kurzen Test mit Beispielproduktionsdaten und fertigt einen Bericht an, der die Leistung und Eignung von Factorysmart KI für diese Anwendung zusammenfasst. Außerdem führt das Unternehmen eine Live-Demonstration der Lösung vor und erläutert die nächsten Schritte für die Umsetzung des Projekts in einen produktiven Inline-Einsatz. Somit erhält der Anwender das nötige Wissen und die Erfahrung, um zu entscheiden, ob er Factorysmart KI in der Produktion tatsächlich einsetzen will.

Entwicklung und Implementierung des KI-Inspektionssystems

In dieser Phase arbeitet LMI mit dem Anwender daran, die KI-Pipeline in ein einsatzfähiges und wiederholgenaues Prüfsystem zu verwandeln.

Auswahl von Bildverarbeitungs-Hardware: Die Einführung eines optischen Inspektionssystems in einen bestehenden Produktionsablauf erfordert die strikte Einhaltung technischer und zeitlicher Vorgaben, die speziell für diesen Produktionsprozess gelten. Zu diesen Vorgaben gehört, wie die Prüfobjekte dem Sensor präsentiert werden, wie oft die Messobjekte erscheinen und wie schnell eine Kontrollentscheidung getroffen werden muss.

LMI unterstützt dabei mit der Wahl passender Bildverarbeitungssysteme und -hardware sowie der Durchführung eines



Das HMI enthält Diagramme, Grafiken und Trendberichte, um so jederzeit über die aktuellen Inspektionsergebnisse und die wichtigsten Parameter informiert zu sein.

Leistungsvergleichs der KI-Pipeline. So wird eine erfolgreiche Implementierung in der Produktion unterstützt.

Optimierung der KI-Pipeline: Die Verlagerung der Inspektion vom Labor in die Produktionshalle kann zu Änderungen der Umgebung, der Kameraposition oder der Lichtausrichtung, -wellenlänge oder -intensität führen. Um das Inspektionssystem zu optimieren, werden zusätzliche Trainingsdaten gesammelt und die KI-Pipeline entsprechend aktualisiert.

LMI führt diese Aktualisierungen an der KI-Pipeline per Fernzugriff durch und stellt sicher, dass das System für die Anwendung optimiert ist. Das Modell wird in der Google-Cloud trainiert und nahtlos in das Produktionssystem hochgeladen.

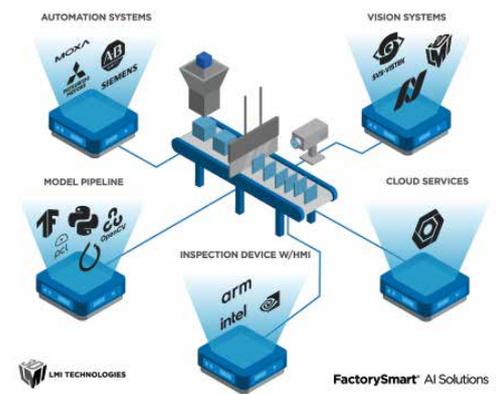
Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI): Dabei dient die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI, Human Machine Interface) als zentrale Schnittstelle zum Inspektionssystem. Sie enthält Diagramme, Grafiken, Trendberichte, um so jederzeit über die aktuellen Inspektionsergebnisse und die wichtigsten Parameter informiert zu sein. Die HMI zeigt auch den Zustand der verschiedenen Komponenten des Prüfsystems an, einschließlich Durchsatz, Temperatur und Betriebszeit.

LMI entwirft und entwickelt eine benutzerdefinierte, browserbasierte Mensch-Maschine-Schnittstelle, die genau den jeweiligen Anforderungen entspricht. Wie die KI-Modellpipeline selbst wird auch die HMI auf einem speziellen LMI-Inspektionsgerät implementiert. Da die HMI browserbasiert ist, kann die Inspektion von jedem Gerät im Inspektionsnetzwerk aus überwacht werden.

Verbindung zur Produktion: Nachdem das System aktualisiert wurde, um den Anforderungen der Produktionsumgebung gerecht zu werden und die Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Überwachung des Prüfstatus installiert wurde, besteht der nächste Schritt darin, das Factorysmart-KI-System mit dem Rest der Produktion zu verbinden. Dies kann die Konfiguration der Ethernet-Kommunikation mit einer SPS, die Auslösung oder Bereitstellung eines Aufnahmepunktes für einen Roboter oder die Übermittlung der Inspektionsentscheidung an ein anderes Steuerungssystem umfassen, welches dann einen Betätigungsschalter aktiviert, um das Teil entsprechend zu bewegen.

Nach der Inbetriebnahme: langfristiger Remote Support

Verbindung zum Inspektionssystem: Ein zuverlässiges und modernes Inspektionssystem reagiert in Echtzeit auf Produktionsänderungen. Dafür müssen potenziell KI-Pipelines aktualisiert werden, damit neue Fehler und Klassifizierungen identifiziert werden können. Zusätzlich sollte das System Änderungen in der Umgebung berücksichtigen, zum Beispiel bei einer Duplizierung des Prüfsystems.



LMI's Factorysmart-KI-Lösungen bieten schlüsselfertige Lösungen, mit der Anwender die Vorteile von KI in der Produktion nutzen können, auch ohne einen KI-Experten im Haus zu haben.

Um dies zu erreichen, arbeitet LMI's Fernsupport-Service mit der Unternehmens-IT zusammen, um eine Verbindung zu den Inspektionsgeräten herzustellen. LMI überwacht den Zustand des Inspektionssystems und gewährleistet somit ein zuverlässige Inspektion.

Dashboards für das Inspektionssystem: Der Status und die Leistung eines Inspektionssystems werden in der Regel von mehreren Mitarbeitern überwacht. Mit dem Fernzugriff haben Mitarbeiter Einblick in aktuelle und vergangene Prüfergebnisse und können so sicherstellen, dass das System zuverlässig läuft und präzise Ergebnisse liefert.

Der auf die konkrete Inspektionsaufgabe zugeschnittene LMI-Fern-Dashboard-Service liefert Daten in Echtzeit. Diese Web-basierte Schnittstelle ist über die Cloud von jedem Gerät aus zugänglich, auch vom Smartphone.

Skalierung der Inspektionslösung und Modelloptimierung: Ein zuverlässiges Produktionssystem muss sich leicht auf weitere Produktionslinien oder -anlagen übertragen lassen. Das System sollte sich an Änderungen in der Produktionsumgebung oder der mechanischen Anlage anpassen. Dabei kann die Übertragung des Inspektionssystems auf andere Produktionsanlagen eine Aktualisierung der KI-Pipeline erfordern.

LMI's Fernsupport-Service implementiert diese Änderungen mit geringen Auswirkungen auf die Produktion. Per Fernzugriff erhalten LMI's Ingenieure neue Inspektionsbilder oder Höhendaten, implementieren die erforderlichen KI-Pipeline-Änderungen und aktualisieren so das Inspektionssystem. ■

AUTOREN

Chris Aden

Senior Director – AI Solutions

Paul Kozik

Commercial Product Manager

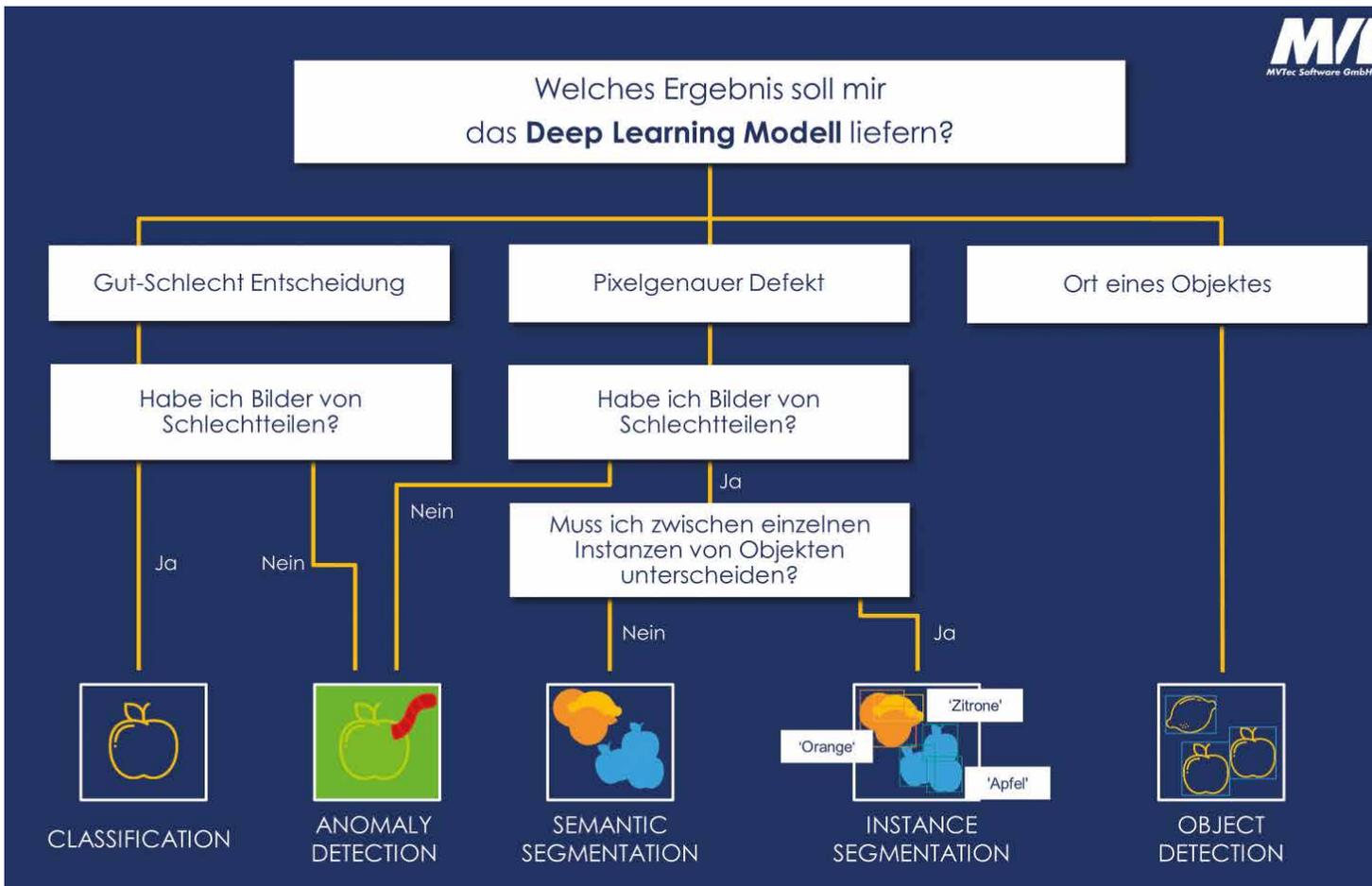
KONTAKT

LMI Technologies GmbH, Teltow

Tel.: +49 3328 936 00

Fax: +49 3328 936 02 00

www.lmi3d.com



Die Auswahl der Deep-Learning-Methode orientiert sich an der Problembeschreibung.

Erkennungsergebnisse von Deep-Learning verbessern

Labeling in Deep-Learning-basierten Machine-Vision-Anwendungen

Moderne Deep-Learning-Toolchains können den Labeling-Aufwand senken und die Qualität der Bilddaten erhöhen. Deep-Learning in Machine-Vision-basierten Inspektionsprozessen kann dadurch bessere Erkennungsergebnisse erreichen.

Entscheidend für den Erfolg eines kamerabasierten Inspektionssystems mit Deep Learning und damit einen klaren Wettbewerbsvorteil ist letztendlich die Qualität der Daten. Hierbei unterscheiden sich Deep-Learning-Technologien fundamental von klassischen, regelbasierten Ansätzen. Denn bei Ersteren müssen zunächst in großem Umfang Daten gesammelt, organisiert und annotiert werden, bevor die eigentliche Entwicklung der Anwendung beginnen kann. Zwar ist bei vielen Deep-Learning-Projekten ein schneller Erfolg in der Anfangsphase zu beobachten. Dennoch zeigt sich im späteren Verlauf häufig, dass sich lediglich Erkennungsraten von maximal

95 Prozent realisieren lassen. Auch ein extensives Tuning der Trainingsparameter oder das Testen diverser Netzwerkarchitekturen ist meist nicht erfolgversprechend. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Datengrundlage und deren Aufbereitung das Problem nicht korrekt beschreibt. Das bedeutet, die Qualität der Datensätze ist mangelhaft.

Welche Deep-Learning-Methode eignet sich?

Daher investieren Deep-Learning-Projektteams in der Regel bis zu 80 Prozent ihrer Zeit darin, das Niveau der Datenqualität signifikant anzuheben. Dieses Vorgehen gliedert sich in mehrere Schritte: Zunächst ist präzise

zu beschreiben, nach welcher Art von Defekt gesucht wird. Dabei müssen mehrere Parameter definiert werden:

- Wird eine Einteilung in „gute/schlechte Qualität“ benötigt?
- Ist ein Objekt zu lokalisieren?
- Soll ein Defekt im Bild segmentiert werden, das heißt, sollen dem Fehler bestimmte Pixel im Bild zugeordnet werden?
- Gibt es bereits Bilder von fehlerbehafteten Teilen?
- Oder ist im Zeitpunkt der Entwicklung noch gar nicht bekannt, welche Defekte konkret auftreten können?

Nach Klärung dieser Fragen kann die richtige Deep-Learning-Methode ausgewählt werden, also Classification, Anomaly Detection, Segmentation, Instance Segmentation oder Object Detection.

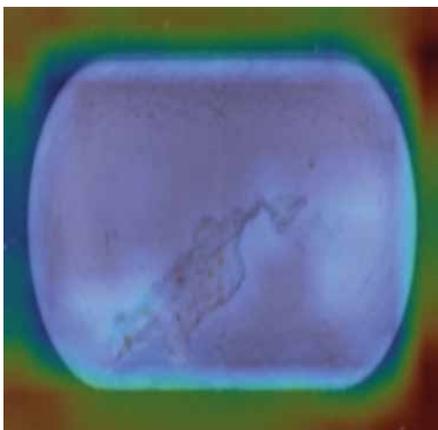
Labeling benötigt viel Zeit

Nach der Beschreibung der Problemstellung beginnt das eigentliche Datenmanagement. Zunächst muss eine ausreichende Menge valider Daten erstellt und gesammelt werden. Hierbei ist in der Bildverarbeitung darauf zu achten, dass die Bilder unter realistischen Produktionsbedingungen aufgenommen werden. So müssen beispielsweise die Varianz der Beleuchtung durch Tageslichteinfüsse, unregelmäßige Hintergründe oder unterschiedliche Oberflächen kontrolliert oder im Datensatz erfasst sein. Dabei nimmt das Labeling den größten Teil des Datenmanagements und des gesamten Deep-Learning-Projektes in Anspruch.

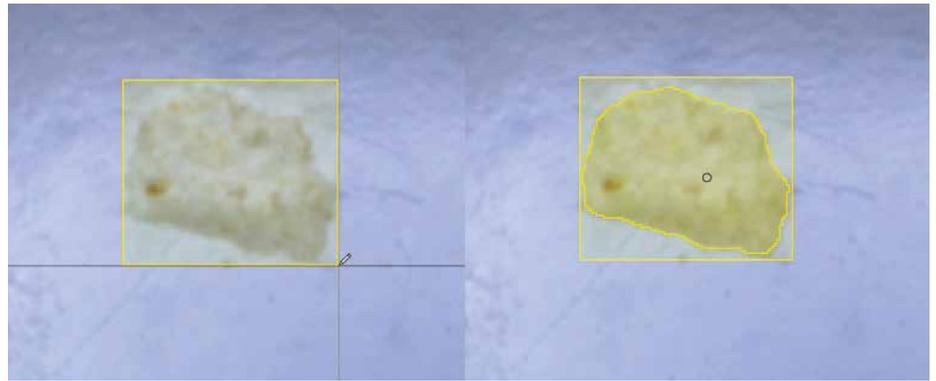
Wodurch erklärt sich nun die hohe Bedeutung des Labelings? Lernende Systeme auf Basis von Künstlicher Intelligenz (KI) wie Deep Learning funktionieren meistens nach dem sogenannten Supervised-Ansatz. Deutlich wird dies an folgendem Beispiel: Ein Schüler erhält vom Lehrer eine bestimmte Aufgabe. In einem iterativen Prozess versucht nun der Schüler, das Problem in mehreren Schritten zu lösen (Training). Nach jedem Zyklus setzen sich Lehrer und Schüler zusammen und erarbeiten gemeinsam eine Strategie zur Verbesserung (Validation). Nach einer ausreichenden Anzahl von Zyklen steht die Prüfung an: Der Schüler bekommt eine ihm bisher unbekannte Aufgabe, um den Lernerfolg zu überprüfen (Test). Diese Analogie verdeutlicht die zentrale Rolle des Labelings: Dieses bringt wie ein Lehrer wichtige neue Informationen in das System, die das Lernen erst ermöglichen und damit den Weg für eine korrekte Entscheidung ebnet.

Labeling-Aufwand hängt von der Deep-Learning-Methode ab

Wie das Lehren im echten Leben lässt sich auch das Labeln nicht automatisieren. Daher entsteht vor allem bei großen Bildmengen ein sehr hoher manueller Aufwand, der jedoch stark von der jeweils verwendeten Methode abhängt. Bei Unsupervised-Methoden



Heatmap: Häufig kommt es bei Deep-Learning-Projekten zum Overfitting: Dabei lernt der Algorithmus nicht, die Objekte zu unterscheiden, sondern Bildeigenschaften, wie in diesem Fall den Hintergrund.



Das Deep Learning Tool von MVTec schlägt automatisch ein Label vor (rechte Bildhälfte).

wie etwa Anomaly Detection lernt das Netzwerk anhand von Umweltfaktoren, also nicht explizit durch einen Lehrer. Hier werden ausschließlich fehlerfreie Teile für das Training benötigt. Dabei lernt das Deep-Learning-Netz, Abweichungen von den „guten Teilen“ zu erkennen. Bei einer Supervised-Methode, der Classification, steigt der Aufwand, da hier alle Trainingsbilder in Klassen eingeteilt werden. Bei der Object Detection wiederum müssen Objekte innerhalb jedes Bildes markiert werden, was den Aufwand für das Labeling zusätzlich erhöht. Am aufwändigsten gestaltet sich die Segmentation, da hier die Pixel eines Bildes in einzelne Klassen wie Objekt oder Hintergrund zugeordnet werden müssen.

So scheitern Deep-Learning-Projekte häufig am hohen Labeling-Aufwand und der Komplexität des Qualitätsmanagements. Dabei bilden die richtigen Daten, korrektes Labeling und eine hohe Datenqualität die Grundvoraussetzungen für ein erfolgreiches Projekt. Wertvolle Unterstützung bietet hier eine Toolchain wie beispielsweise das MVTec Deep Learning Tool in Kombination mit Halcon. Es trägt aktiv dazu bei, den Aufwand für das Labeling zu verringern und hilft Anwendern, Fehler sowie Unregelmäßigkeiten im Datensatz sicher zu finden.

Wichtige Funktionen einer Deep-Learning-Toolchain

Um die Datenqualität zu erhöhen und zugleich den Aufwand zu reduzieren, sollte die Toolchain bestimmte Funktionen umfassen. Dazu gehört eine Labeling Guideline. Darüber hinaus sollte das Tool Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Datensatzes wie etwa die Klassenverteilung innerhalb der Splits zulassen. Ein weiteres wichtiges Feature ist die Heatmap. Denn häufig kommt es bei Deep-Learning-Projekten zum sogenannten Overfitting: Manchmal variieren bestimmte Eigenschaften eines Bildes wie etwa der Hintergrund eines Objektes oder Bildrauschen nicht zufällig, sondern gemeinsam mit der Bildklasse. Hier lernt der Algorithmus nicht, die Objekte zu unterscheiden, sondern diese Eigenschaften. Auch dies wird anhand

der oben genannten Analogie deutlich: Der Schüler würde in diesem Fall etwa lernen, dass bei Multiple-Choice-Tests die längsten Antworten mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig sind – was auch tatsächlich der Fall ist. Für die Bildverarbeitung bedeutet dies: Die Bilder von defektfreien Teilen können beispielsweise aus einem Produktionsszenario stammen, während die Bilder von fehlerbehafteten Objekten aus dem Labor mit anderer Beleuchtung und einem abweichenden Grauwert als Hintergrund kommen. Die Deep-Learning-Toolchain sollte in der Lage sein, solche Fälle verlässlich aufzuspüren. Möglich ist dies mit einer Heatmap, welche die für die Klassifizierung ausschlaggebenden Regionen eines Bildes deutlich hervorhebt.

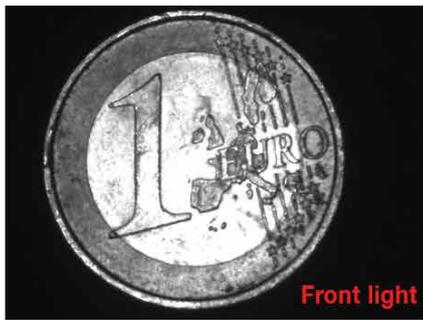
Ein weiteres hilfreiches Feature ist das sogenannte Smart Labeling: Denn vor allem bei der Segmentierung gestaltet sich das Labeling sehr aufwändig, da hier Pixelregionen einer bestimmten Klasse zugeordnet werden müssen. Dies erfordert ein hohes Maß an manueller Arbeit mit Pinsel und Radierer. Die Deep-Learning-Toolchain sollte daher in der Lage sein, automatische Label-Vorschläge zu generieren. Wird das zu erkennende Objekt mit einer Bounding Box umrahmt, kann das Deep Learning Tool mit dieser zusätzlichen Information und dem KI-basierten Smart Labeling den Gegenstand automatisch segmentieren. Je nach Anwendungsfall spart dies sehr viel Zeit. Die Vorschläge lassen sich dann bei Bedarf manuell verbessern. ■

AUTOR

Christian Eckstein
Produktmanager Deep Learning Tool bei
MVTec Software

KONTAKT

MVTec Software GmbH, München
Tel.: +49 89 457 695 0
sales@mvtec.com
www.mvtec.com



Front light



Diffuse light



Bright field



Dark field

Low angle
dark field

Back light

Beleuchtung beeinflusst Deep-Learning-Anwendungen erheblich

Beleuchtung verbessert die Qualität der Bilddaten für neuronale Netze

Bessere Trainingsdaten neuronaler Netze lassen sich durch den zielgerichteten Einsatz von Beleuchtung erreichen. Denn sie erhöht die Bildqualität massiv.

Traditionell nutzen Bildverarbeitungssysteme regelbasierte Algorithmen, um mathematische Entscheidungen zu treffen. Doch manche Applikationen lassen sich nur schwer mathematisch abbilden, was eine Herausforderung darstellt. Viele Machine-Vision-Systeme könnten die Fähigkeit gut gebrauchen, mehrdeutige oder schwer charakterisierbare Bilder zu klassifizieren. Zum Beispiel lassen sich Bildverarbeitungsaufgaben, wie das Erkennen kosmetischer Fehler oder die finale Qualitätsprüfung eines Fertigprodukts, schwer mit statischen, traditionell programmierten Applikationen lösen. Ein Weg, solche Bildverarbeitungsanwendungen zu verbessern, besteht darin, sie mit Daten statt mit Algorithmen zu trainieren.

Um ein Deep-Learning-System umzusetzen, müssen neuronale Netzwerke – auch

bekannt als CNN (Convolutional Neural Network) – mit Daten trainiert werden, die es dem System ermöglichen, mit uneindeutigen Situationen und schwierigen Charakterisierungen klarzukommen. In der Bildverarbeitung lassen sich Deep-Learning-basierte Entscheidungen nur mit Iteration optimal erzielen. Die Bilder müssen unter Fertigungsbedingungen erfasst werden – etwa in puncto Beleuchtung und Position beziehungsweise Orientierung des Objekts. Oft bedürfen solche Systeme einer großen Menge an Musterbildern, um die Variantenvielfalt zu erfassen und möglichst korrekte Ergebnisse mit möglichst wenigen falsch-negativen zu liefern.

Kosmetische Fehlererkennung erfordert beispielsweise, dass viele Bilder des Objekts eingegeben und als „gut“ oder „schlecht“ markiert werden. Diese Trainingsbilder müssen verschiedene Orientierungen, Licht- und Größenverhältnisse, Toleranzen, Fehler und Mängel aufweisen. Kurz: Sie müssen so viele Varianten abbilden, wie im realen Betrieb vorkommen würden.

Es kann eine Herausforderung sein, alle möglichen Varianten, Fehler und Beleuchtungsprofile im Vorfeld zu kennen, um sie

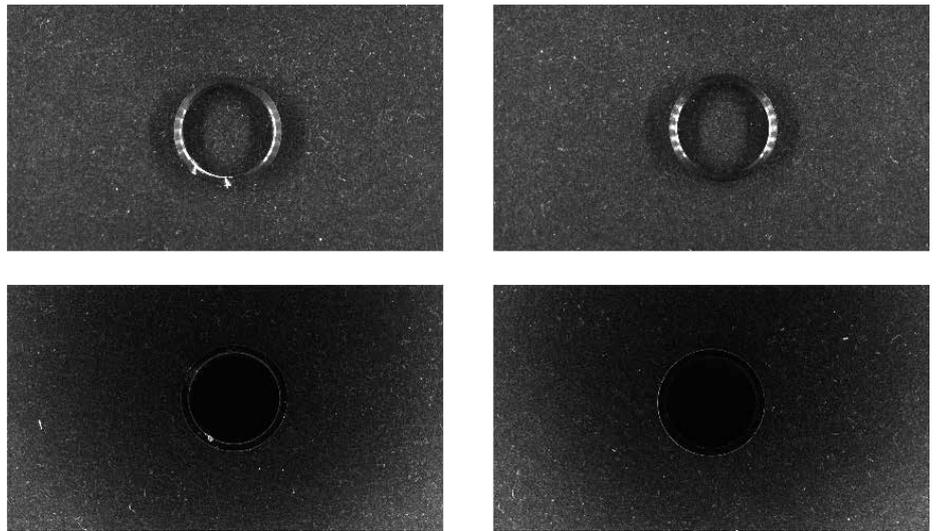
entsprechend mit Musterbildern einzutrainieren. Die Klassifizierung entspricht der Bestimmung der sogenannten „Ground Truth“, also des Feldvergleichs für gute oder schlechte Produkte beziehungsweise der Bestimmung der vorhandenen Mängel bei mehrfacher Klassifizierung.

Mit Labels werden Mängel lokalisiert oder weitere für das Training des neuronalen Netzwerks relevante Produktmerkmale erfasst. Nach dem Training und der Entwicklung müssen Deep-Learning-basierte Bildverarbeitungssysteme statistisch getestet werden, bevor sie in Betrieb genommen werden. Genauso wie manuelle Prüfverfahren können Deep-Learning-Systeme nur dadurch qualifiziert werden, dass ihre Leistung mit statistisch relevanten Daten gemessen wird.

Anwendungsbeispiel: Gute vs. schlechte Beleuchtung

Deep Learning kann helfen, Schwierigkeiten bei der Bilderfassung zu kompensieren, was manche Entwickler dazu verleitet, zu glauben, dass die Qualität der Inputdaten nicht mehr so entscheidend sei wie früher, wenn sich Deep Learning schlechten Lichtverhältnissen

◀ Beleuchtungsarten im Vergleich. Es ist wichtig zu wissen, welche Information eine Bildverarbeitungsanwendung erfassen beziehungsweise analysieren muss, um die geeignete Beleuchtung auszuwählen.



Die beiden helleren Aufnahmen zeigen ein schlecht beleuchtetes Bauteil mit (l.) und ohne Mängel. In beiden Bildern treten Spiegelungen auf, die mit Mängeln verwechselt werden können. Die beiden dunkleren Bilder zeigen, wie eine geeignete Beleuchtung die Fehler hervorhebt, ohne falsche Treffer zu generieren.

anpassen kann. Tatsächlich aber bleibt die „Garbage in, garbage out“-Formel weiterhin valide. Je besser die Qualität der Bilddaten von Anfang an, desto besser wird das Ergebnis.

In einem konkreten Fall prüfte ein Deep-Learning-basiertes Bildverarbeitungssystem Bauteile mit guter und schlechter Beleuchtung. Ziel war es, Mängel zu erkennen und dabei die Leistung beider Leuchtkonfigurationen zu ermitteln. Die Teile wiesen einen bis

drei Mängel auf, nämlich Kratzer und Dellen auf einer eloxierten Oberfläche. Zum Trainieren des Systems wurden 35 Bilder von unbeschädigten (guten) Teilen und 35 Bilder von beschädigten (schlechten) Teilen verwendet.

Die insgesamt 70 Trainingsbilder wurden sowohl mit guter als auch mit schlechter Beleuchtung erfasst und jeder Datensatz trainierte ein Klassifizierungsnetzwerk. Jedes dieser Netzwerke wurde in insgesamt

30 Epochen trainiert. Zur Datenaugmentation wurden zusätzliche Bilder generiert, indem jedes Bild vertikal und horizontal gespiegelt wurde. Dadurch verdoppelte sich jeder Datensatz auf 140 Bilder je Beleuchtungsprofil. Beide Netzwerke basierten auf derselben Trainingsmethode und Datenaugmentation, um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Dieses einfache Experiment bewies, dass die Leistung einer Deep-Learning-

WILEY

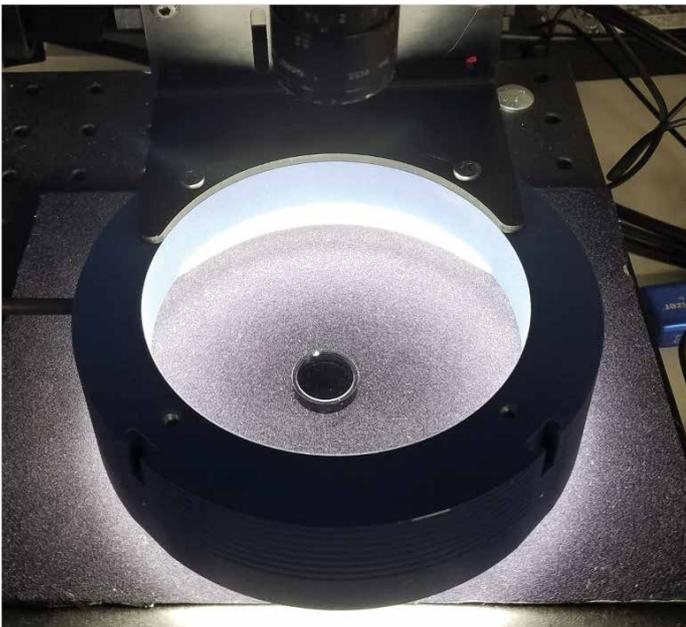


Lesen, was interessiert.

Für ein Abonnement des Magazins **inspect – World of Vision** wenden Sie sich einfach an WileyGIT@vuserice.de oder registrieren Sie sich online unter <https://www.wileyindustrynews.com/user/register>. Und wenn Sie die Option des E-Papers nutzen, tun Sie auch gleich etwas für die Umwelt.

inspect
WORLD OF VISION

www.WileyIndustryNews.com



Eine Ringbeleuchtung über einem Metallteil

Oberflächeninspektion deutlich besser ist, wenn die Beleuchtung optimiert wurde. Die Genauigkeit des Netzwerks, das mit gut beleuchteten Bildern trainiert wurde, war um 12,85 Prozent höher als die des Netzwerks mit schlecht beleuchteten Trainingsbildern.

Spielt die Beleuchtung also eine Rolle?

- Das Netzwerk mit guter Beleuchtung erreichte eine Trefferquote von 95,71 Prozent bei 43,21 Millisekunden durchschnittlicher Inferenzdauer.
- Das Netzwerk mit schlechter Beleuchtung erreichte eine Trefferquote von 82,86 Prozent bei 43 Millisekunden durchschnittlicher Inferenzdauer.

Deep Learning kann gute Beleuchtung also nicht ersetzen. Die Ergebnisse dieses Versuchs ließen sich auf viele Anwendungen der Bildverarbeitung übertragen. Schlechtes Licht verursacht schlechte Erkennung der Objektbeschaffenheiten und mehr Verwechslungen (falsche Treffer).

Viele gründliche Untersuchungen zeigen, dass die Genauigkeit der Klassifizierung unter Bildqualitätsproblemen wie Unschärfe oder Rauschen leidet. Zwar schneiden neuronale Netzwerke in der Regel so gut wie beziehungsweise besser als Menschen bei guter Bildqualität ab, aber deren Leistung ist viel schlechter bei schlechten Bildern. Eine gute Beleuchtung verbessert die Qualität der Inputdaten und somit auch die Fähigkeit von Deep Learning, in Machine-Vision-Anwendungen Bilder zu vergleichen und zu klassifizieren. „Smart Lighting“ – Geometrie, Struktur, Wellenlänge, Filter, etc. – bleibt sowohl für klassische als auch für Deep-Learning-Bildverarbeitungssysteme weiterhin entscheidend, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erreichen. ■

Tabelle: Der Weg zu einem funktionierenden Bildverarbeitungssystem mit künstlicher Intelligenz

Phase 1 – Prototyp bauen	Phase 2 – Bilddaten sammeln
<p>Aktuellen Prozess analysieren und bestimmen, ob KI-/Deep-/Machine-Learning Software die richtige Lösung ist.</p> <p>Schritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendungsanforderungen feststellen • Eine kleine Datenbank von klassifizierten und gelabelten Bildern erfassen • Testsystem zum Machbarkeitsnachweis bauen 	<p>Testsystem in die Fertigungslinie integrieren und mit der Datenerfassung beginnen.</p> <p>Schritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kamera und Beleuchtung in die Fertigungslinie integrieren • KI/DL/ML Ergebnisse mit manueller Inspektion vergleichen (sofern vorhanden) • Feldvergleiche festlegen und Bilder labeln • Machbarkeitsnachweis bauen, wenn kein Originaldatensatz vorhanden
Phase 3 – Optimierung	Phase 4 – Validierung und Umsetzung
<p>KI/DL/ML-Lösung verbessern bis sie die Leistungsanforderungen hinsichtlich Falsch-Positiven/Negativen erfüllt.</p> <p>Schritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deep-Learning-Lösung im Vergleich zu Bilddatensätzen und in der Fertigung laufen lassen • Ergebnisse mit Feldvergleich und manueller/menschlicher Prüfung vergleichen • Anpassen und wiederholen 	<p>Lösung qualifizieren und mit der Umsetzung in der Fertigung beginnen. Wirksamkeit kontrollieren und KI/DL/ML-Modelle gegebenenfalls anpassen bei veränderten Fertigungsbedingungen, neuen Produkten, etc.</p> <p>Schritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prozessvalidierung bestehen • Go live in Produktion

AUTOR
Steve Kinney
 Director of Engineering

KONTAKT
 Smart Vision Lights, Norton Shores, USA
 Tel.: +1 231 722 11 99
www.smartvisionlights.com

Alle Bilder: Smart Vision Lights



USB3-Kameras mit mehr Anwendungsmöglichkeiten

Allied Vision stattet seine Kameraserie Alvium 1800 U mit drei weiteren Sony-IMX-Sensoren der vierten Generation mit Pre-gius-S-Global-Shutter-Technologie aus. Mit den neuen Modellen Alvium 1800 U-511 (Sony IMX547), Alvium 1800 U-811 (Sony IMX546) und Alvium 1800 U-1242 (Sony IMX545) umfasst die Alvium-Kameraserie mit USB3-Schnittstelle nun 19 Modelle.

Die Kamera Alvium 1800 U-511 bietet mit dem Sony-IMX547-Sensor einen Global-Shutter-Sensor im Format von 1/1,8 Zoll. Damit ist er der erste 5,1-Megapixel-Global-Shutter-Sensor von Sony, der sich für den Einsatz eines kompakten S-Mount-Objektivs von Allied Vision eignet. Gleichzeitig weist der Sensor dasselbe Bildseitenverhältnis auf wie der IMX264 mit der gleichen Auflösung, jedoch bei deutlich geringerer Größe.

www.alliedvision.com

Ereignisbasierte Vision-Sensoren verfügbar

Macnica ATD bietet ab sofort den ereignisbasierten Vision-Sensor („EVS“) von Sony an. Die beiden Sensoren IMX636 und IMX637 wurden durch die Zusammenarbeit zwischen Sony und Prophesee ermöglicht, einem weiteren Vertriebspartner von Macnica ATD Europe. EVS realisiert eine Hochgeschwindigkeits-Datenausgabe mit geringer Latenz, indem es die Ausgabedaten auf Luminanzänderungen von jedem Pixel begrenzt, kombiniert mit Informationen zu Pixelpositionskoordinaten und -zeit. Nur die Pixel, die eine Leuchtdichteänderung für das Objekt erkannt haben, können Daten ausgeben, sodass der Sensor die Leuchtdichteänderungen sofort mit hoher Geschwindigkeit, niedriger Latenz und hoher zeitlicher Auflösung erkennen kann, während er mit geringem Stromverbrauch arbeitet. Es stellt einen neuen Ansatz dar im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten Frame-basierten Verfahren, bei denen das gesamte Bild in bestimmten, durch die Framerate bestimmten Intervallen ausgegeben wird.

www.macnica-atd-europe.com



Gleichzeitiges Streamen mit vier Kameras

Das Quartet-TX2-Trägerboard von Teledyne Flir ermöglicht das gleichzeitige Streamen von vier USB3-Board-Level-Kameras bei voller Bandbreite. Dieses kundenspezifische Trägerboard eignet sich für Anwendungen mit beengten Platzverhältnissen und macht Peripherie-Hardware und Hostsysteme überflüssig. Die Embedded-Lösung wird mit der Spinnaker SDK vorintegriert und bietet eine schlüsselfertige Lösung mit skalierbaren Leistungsoptionen und hoher Zuverlässigkeit. Das Trägerboard kombiniert Strom- und Datenübertragung über ein einziges Kabel pro Kamera, die Grundfläche ist dabei 138 x 92 x 18,2 mm groß. Ingenieure können jetzt kompakte Bildverarbeitungssysteme mit dem TX2-Modul entwerfen und einen leistungsstarken Einplatinencomputer (SBC) problemlos in platzbeschränkte Bildverarbeitungssysteme integrieren.

www.teledyne.com

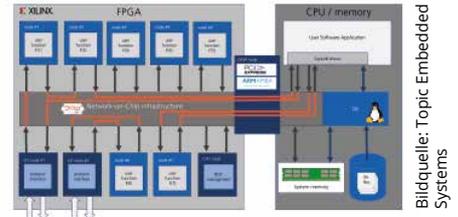


Condition Monitoring mit Industrial Dashcam

Mit der Industrial Dashcam hat Imago Technologies eine Lösung zur Beobachtung industrieller Abläufe entwickelt und ermöglicht damit ein effektives Condition Monitoring zur Optimierung von Prozessen in vielen Industrieanwendungen.

Dashcams eignen sich auch in der Industrie für unvorhersehbare Störfälle, deren Ursprung zweifelsfrei und möglichst schnell nachvollzogen werden muss, um durch geeignete Gegenmaßnahmen einen zuverlässigen Ablauf der Produktion sicherzustellen. Der Global-Shutter-CMOS-Sensor der Industrial Dashcam arbeitet mit Full-HD-Auflösung und einer Bildrate von ca. 60 Vollbildern pro Sekunde. Ein 20 Sekunden langes Video erzeugt somit ein enormes Datenvolumen, das sich nicht innerhalb des kompakten Geräts mit Abmessungen von 45 x 53 x 25 mm ab speichern lässt.

www.imago-technologies.com



Bildquelle: Topic Embedded Systems

FPGA-Tool beschleunigt Programmierung

Aries Embedded vereinfacht und beschleunigt mit der neuen Version des FPGA-Tools Dyplo 2.0 von Topic Embedded Systems die Verwendung der Miami-FPGA-Module. Dyplo baut auf der Xilinx-Dynamic-Function-Exchange-Technologie (DFX) und High-Level-Synthese auf und unterstützt die aktuellen Xilinx-Bausteine, einschließlich der Alveo-Boards und Cloud-basierten Systeme. Eine Verbesserung ist die Vergrößerung der Busbreite von 32 auf 64 Bit. Zudem unterstützt das Update niedrige Latenzen und hohen Datendurchsatz, die etwa bei Applikationen für das Image Processing von 4K-Videos nötig sind. Auch die Leistung und Flexibilität der DMA-Engine wurde verbessert, um den anspruchsvollen Designanforderungen heutiger Systeme gerecht zu werden. Das leistungsfähige Tool bietet bei Bedarf rekonfigurierbare Funktionsblöcke auf dem FPGA.

www.aries-embedded.com



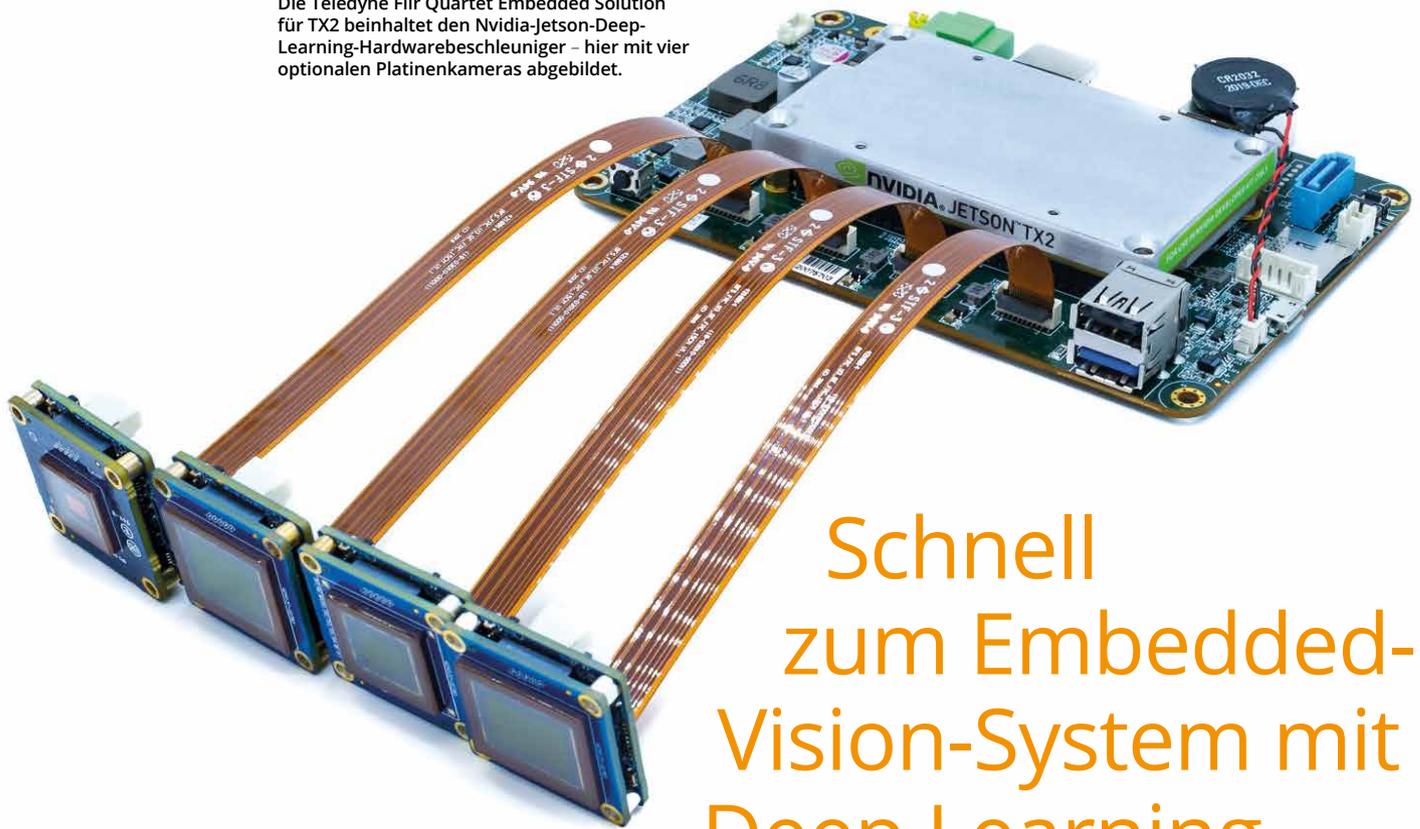
Beschleunigerkarte für HPC- und Big-Data-Workloads

Xilinx hat die Beschleunigerkarte Alveo U55C für Datenzentren und eine neue standardbasierte, API-gesteuerte Clustering-Lösung für den Einsatz von FPGAs vorgestellt. Die Beschleunigerkarte bietet eine gute Watt-Performance für High Performance Computing (HPC) und Datenbankanwendungen und lässt sich über die HPC-Clustering-Lösung von Xilinx leicht skalieren. Sie wurde speziell für HPC- und Big-Data-Workloads entwickelt und bietet hohe Rechendichte und HBM-Kapazität.

Die U55C-Karte ist eine Single-Slot-Karte im FHHL-Formfaktor (Full Height, Half Length) mit einer geringen maximalen Leistungsaufnahme von 150 W. Sie verdoppelt den HBM2 auf 16 GB im Vergleich zu ihrem Vorgänger, der Dual-Slot-Karte Alveo U280. Die U55C bietet mehr Rechenleistung in einem kleineren Formfaktor.

www.xilinx.com

Die Teledyne Flir Quartet Embedded Solution für TX2 beinhaltet den Nvidia-Jetson-Deep-Learning-Hardwarebeschleuniger – hier mit vier optionalen Platinenkameras abgebildet.



Schnell zum Embedded- Vision-System mit Deep Learning

Trägerplatine integriert Nvidia Jetson
und vier USB3-Kameras

Vier Anwendungsbeispiele zeigen, wie sich Embedded-Vision-Systeme schnell entwickeln lassen. Auch Deep Learning lässt sich mit dem integrierten Nvidia-Jetson-Deep-Learning-Hardwarebeschleuniger umsetzen. Auf der Trägerplatine lassen sich vier USB3-Kameras mit voller Bandbreite einbinden.

Um kompakte und zugleich leistungsfähige Embedded-Vision-Systeme zu ermöglichen und innerhalb kurzer Zeit Prototypen zu entwickeln, hat Teledyne Flir die Quartet Embedded Solution für TX2 eingeführt. Mit dieser maßgeschneiderten Trägerplatine lassen sich vier USB3-Kameras mit voller Bandbreite integrieren. Sie beinhaltet den Nvidia-Jetson-Deep-Learning-Hardwarebeschleuniger und ist im Spinnaker SDK von Flir vorintegriert. Quartet ist frisch auf dem Markt und eignet sich insbesondere für die Inspektion, mobile Robotik, Drohnen und den smarten Einzelhandel.

Dieser Praxis-orientierte Artikel beschreibt anhand von vier Anwendungsbeispielen, wie sich Prototypen entwickeln lassen. Drei davon nutzen Deep Learning:

- Anwendung 1: Kennzeichenerkennung mittels Deep Learning;
- Anwendung 2: Fahrzeugtyp-Kategorisierung mittels Deep Learning;

- Anwendung 3: Fahrzeug-Farb-klassifikation mittels Deep Learning;
- Anwendung 4: Frontscheibeneinblick (frei von Reflexion und Blendung).

Einkaufsliste: Hard- und Software

1. System on Module (SOM) zur Verarbeitung

Die Teledyne-Flir-Quartet-Trägerplatine für TX2 umfasst vier TF38-Anschlüsse mit dedizierten USB3-Controllern sowie ein Nvidia-Jetson-TX2-Modul. Das Spinnaker-SDK (Software Development Kit) von Teledyne Flir ist vorinstalliert und gewährleistet Plug-and-Play-Kompatibilität mit den Flir-Blackfly-S-Platinenkameras. Der Nvidia-Jetson-Deep-Learning-Hardwarebeschleuniger ermöglicht die Installation kompletter Entscheidungsfindungssysteme auf einer Platine.

2. Benötigte Kameras und Kabel

- drei Standard-Flir-Blackfly-S-USB3-Platinenkameras mit den gleichen

umfangreichen Funktionen wie die Gehäuseversion für die neuesten CMOS-Sensoren und eine nahtlose Integration in Quartet;

- eine kundenspezifische Kamera: Blackfly-S-USB3-Platinenkamera mit dem IMX250MZR-Polarisationssensor von Sony;
- Kabel: TF38-FPC-Kabel, das Strom und Daten überträgt.

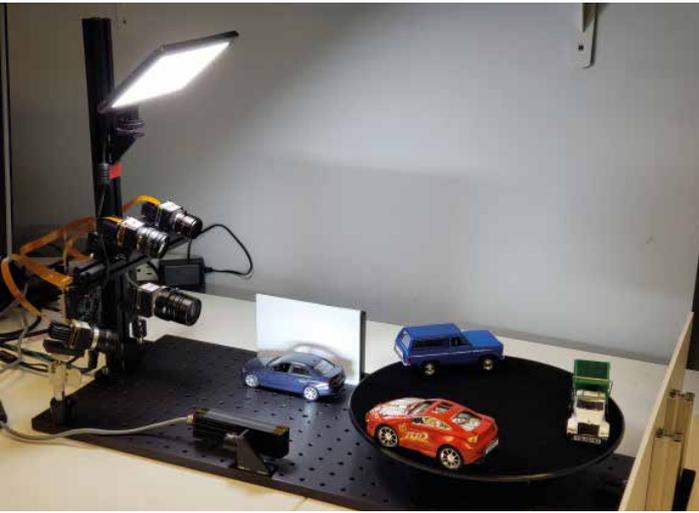
3. Beleuchtung

LED-Leuchten sorgen für hinreichende Ausleuchtung, um Bewegungsunschärfe bei Nummernschildern zu vermeiden.

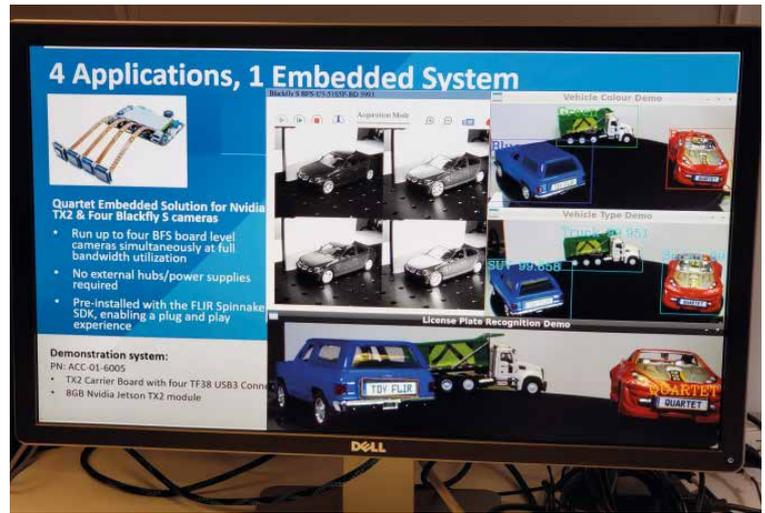
Anwendung 1: Kennzeichenerkennung mittels Deep Learning

- Entwicklungszeit: zwei bis drei Wochen, um das System robuster und schneller zu machen;
- Testbilder: In LPDNet enthalten.

Für die Kennzeichenerkennung kam ein handelsübliches Deep-Learning-Modell von Nvidia zur Nummernschilderkennung (LPDNet (<https://catalog.ngc.nvidia.com/orgs/nvidia/teams/tao/models/lpdnet>)) zum Einsatz, um die Position der Nummernschilder zu erfassen. Um die Buchstaben und Ziffern zu



Die Versuchsanordnung für alle vier Anwendungsbeispiele. Drei davon nutzen Deep Learning.



Das Testsystem (ganz links) und die vier Anwendungsbeispiele in der Übersicht: Frontscheibeneinblick mittels Polarisation (oben links), Fahrzeug-Farbklassifikation (oben rechts), Fahrzeugtyp-Kategorisierung (Mitte rechts) und Kennzeichenerkennung (unten), die letzten drei jeweils mittels Deep Learning.

erkennen, kam die Tesseract Open-Source OCR-Engine (<https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>) zum Einsatz. Bei der Kamera handelte es sich um eine Blackfly-S-8,9-MP-Platinenfarbkamera (BFS-U3-88S6C-BD) mit Sony-IMX267-Sensor. Die Region of Interest wurde für die Kennzeichenerkennung begrenzt, um die Leistung zu beschleunigen. Stattdessen wurde Tracking verwendet, um das System robuster zu machen. Die Ausgabe enthält Begrenzungsrahmen der Kennzeichen zusammen mit den entsprechenden Nummernschildzeichen.

Anwendung 2: Fahrzeugtyp-Kategorisierung mittels Deep Learning

- Entwicklungszeit: ca. 12 Stunden, inklusive Bildaufnahme und -annotation;
- Testbilder: ca. 300.

Für die Fahrzeugtyp-Kategorisierung mittels Transferlernen haben die Teledyne-Flir-Entwickler ein eigenes Deep-Learning-Objekterkennungsmodell auf die drei verwendeten Spielzeugautos trainiert. Diese waren ein SUV, eine Limousine und ein LKW. Sie nahmen ca. 300 Testbilder des Setups aus unterschiedlichen Entfernungen und Winkeln auf. Bei der Kamera handelte es sich um eine Blackfly-S-5-MP-Platinenfarbkamera (BFS-U3-51S5C-BD) mit Sony-IMX250-Sensor. Die Entwickler annotierten etwa drei Stunden lang die Begrenzungsrahmen der Spielzeugautos. Mittels Transferlernen trainierten sie das Objekterkennungsmodell SSD MobileNet (<https://github.com/chuanqi305/MobileNet-SSD>), was auf einer Nvidia-GTX1080-Ti-GPU etwa einen halben Tag dauerte. Mithilfe des GPU-Hardwarebeschleunigers kann das Jetson-TX2-Modul Deep-Learning-Inferenz effizient durchführen und Begrenzungsrahmen der Autos zusammen mit den entsprechenden Fahrzeugtypen ausgeben.

Anwendung 3: Fahrzeug-Farbklassifikation mittels Deep Learning

- Entwicklungszeit: Zum Einsatz kam dasselbe Modell wie bei der „Fahrzeugtyp-Anwendung“ mit zwei zusätzlichen Tagen für Farbklassifikation, Integration & Test;
- Testbilder: Es wurden dieselben 300 Bilder wie bei der „Fahrzeugtyp-Anwendung“ verwendet.

Zur Fahrzeug-Farbklassifikation nutzten die Entwickler dasselbe Deep-Learning-Objekterkennungsmodell wie oben, um die Autos zu erkennen, gefolgt von einer Bildanalyse anhand der Begrenzungsrahmen, um die Farbe zu klassifizieren. Die Ausgabe enthält Begrenzungsrahmen der Fahrzeuge zusammen mit den entsprechenden Nummernschildzeichen. Bei der Kamera handelte es sich um eine Blackfly-S-3-MP-Platinenfarbkamera (BFS-U3-32S4C-BD) mit Sony-IMX252-Sensor.

Anwendung 4: Frontscheibeneinblick (frei von Reflexion und Blendung)

Das Reduzieren von Blendlicht spielt bei verkehrsspezifischen Anwendungen eine bedeutende Rolle, um beispielsweise Einblick durch die Frontscheibe zu erhalten und so die Nutzung von Sonderspuren für Fahrzeuge mit hoher Besetzung (HOV-Spuren), das Einhalten der Gurtpflicht oder die Handynutzung während der Fahrt zu kontrollieren. Zu diesem Zweck haben Flir-Entwickler eine kundenspezifische Kamera entwickelt, die aus einer Blackfly-S-USB3-Platinenkamera und dem 5-MP-Polarisationsfilter IMX250MZR von Sony besteht. Diese Polarisations-Platinenkamera ist kein Standardprodukt, aber Teledyne Flir kann die Sensoren einfach austauschen, um kundenspezifische Kameraoptionen anzubieten und deren Funktion

zur Blendlichtreduzierung zu demonstrieren. Die Kamerabilder wurden über die Spinview-GUI von Teledyne Flir gestreamt, die mehrere Polarisationsalgorithmus-Optionen wie Quad-Modus und Blendungsreduzierungsmodus bietet, um das verringerte Blendlicht an einem stehenden Spielzeugauto zu demonstrieren.

KI-Optimier-Tool verzehnfacht Systemleistung

Während jeder der vier Prototypen unabhängig voneinander gut funktionierte, stellten die Entwickler bei der gleichzeitigen Ausführung aller Deep-Learning-Modelle eine ziemlich mangelhafte Gesamtleistung fest. Das Tensor-RT-SDK von Nvidia bietet einen Deep-Learning-Inferenzoptimierer und eine Laufzeit der Nvidia-Hardware ähnlich dem Jetson-TX2-Modul. Also optimierten sie die Deep-Learning-Modelle mithilfe des Tensor-RT-SDK, was zu einer rund zehnfachen Leistung führte. Auf der Hardwareseite statteten sie das TX2-Modul mit einem Kühlkörper aus, um eine Überhitzung zu vermeiden, die beim gleichzeitigen Betrieb aller Anwendungen zu befürchten war. Schließlich gelang es, mit allen vier Anwendungen gleichzeitig gute Bildraten zu erzielen: 14 fps für die Fahrzeugtyp-Identifikation, 9 fps für die Fahrzeug-Farbklassifikation, 4 fps für die automatische Kennzeichenerkennung und 8 fps für die Polarisationskamera. ■

AUTORIN

Riana Sartori

Senior Manager, Machine Vision Products,
Teledyne Flir

KONTAKT

Teledyne Flir Integrated Imaging Solutions
Germany GmbH, Ludwigsburg
Tel.: +49 7141 488 81 70
mv-eusales@flir.com
www.flir.de/mv



Die Informationen zu Rotationswinkel und Position der Tassen erhält der Cobot von der Software Matrox Design Assistant X, woraufhin der Roboter die Tassen greift und platziert.

Kostenersparnis durch automatisiertes Handling von Porzellangeschirr

3D-basiertes robotergestütztes Pick-and-Place-System

15 Prozent der Produktionskosten einsparen durch das automatisierte Handling von italienischen Luxus-Porzellantassen, das gelingt einem Cobot in Kombination mit einem 3D-Profilsensor und einer Bildverarbeitungs-Software. Dieser Erfolg veranlasst die beteiligten Unternehmen, weitere Anwendungen zu erschließen, etwa in der Lebensmittelindustrie.

Ein Luxus-Porzellanhersteller mit Sitz außerhalb von Florenz, Italien, ist seit dem 18. Jahrhundert einer der führenden Produzenten von handgefertigtem, elegant gestaltetem Geschirr. Die unberührte weiße Farbe von Porzellan ist genau das, was unzählige Herausforderungen bei der Produktion erzeugt: Mit einem Roboterarm rohe weiße Teetassen auf dem Produktionsband zu lokalisieren und sie akkurat nebeneinander in einer Reihe zu platzieren, war für ein 2D-Bildverarbeitungssystem nicht möglich, da es Größen, Formen und Positionen des Produkts unterscheiden können muss. Um diese Hürden zu überwinden, wandte sich der Hersteller an Autech und Fortek – zwei italienische Automatisierungsspezialisten. Sie halfen dabei, ein ro-

botergestütztes Pick-and-Place-System zu entwickeln, das von Mitarbeitern willkürlich platzierte Teetassen lokalisiert. „Nachdem wir uns den Herstellungsprozess angesehen hatten, sahen wir nur die Möglichkeit, ein 3D-basiertes Bildverarbeitungssystem einzusetzen. Fündig wurden wir bei Matrox Imaging“, erklärt der Software-Entwickler von Autech, Marco Goracci.

3D-Profilsensor als Auge des Cobots

Das von Autech und Fortek entwickelte 3D-Bildverarbeitungssystem verknüpft ein Matrox-Altiz-3D-Profilsensor mit einem Matrox-4Sight-EV6-Vision-Controller. Die Steuerung übernahm die Vision-Software Matrox Design Assistant X. Ein kollaborativer Roboter (oder auch ‚Cobot‘) von Universal Robots macht

die Installation vollständig. Der Cobot arbeitet bildgestützt und die Bewegungen werden von der Software gesteuert. Das heißt, der Anwender muss weder beim Cobotarm noch beim Bildverarbeitungssystem eingreifen.

Das Bildverarbeitungssystem führt drei zentrale Aufgaben aus:

- das Scannen der rohen weißen Tassen in 3D,
- das Analysieren dieser 3D-Scans, um Größe, Form und Position der Gefäße zu bestimmen,
- und das Übermitteln der Ergebnisse an den Cobot, sodass dieser die Teetassen präzise greifen kann, während sie auf der Produktionslinie entlangfahren.

Ohne das Pick-and-Place-System musste ein Mitarbeiter die rohen weißen Teetassen auf dem Produktionsband platzieren. „Wir brauchten eine robuste Lösung für eine Pick-and-Place-Anwendung. Die Produkte von Matrox Imaging waren die besten, was einfache Anwendung, Programmierbarkeit und Preis-Leistungs-Verhältnis angeht“, so Goracci.

» Die größte Herausforderung war die Vielfalt an Porzellanprodukten, die das System analysieren musste. «

Der 3D-Profilesensor, der sich am Cobotarm befindet, ist mit dem Vision-Controller über ein Gigabit-Ethernet-Kabel verbunden und wird von diesem auch mit Strom versorgt. Der Roboter fährt über dem Förderband hin und her, um einen 3D-Scan jeder Tasse durchzuführen. Mithilfe von Algorithmen erstellt der Profilsensor damit 3D-Daten, indem er die Pixeldaten der zwei integrierten Bildsensoren selektiert oder kombiniert und sie als 3D-Daten über das GigE Vision Interface ausgibt.

Position und Rotation des Tassengriffs werden automatisch ermittelt

Die in Form einer Tiefenkarte dargestellten 3D-Daten nutzt der Matrox Design Assistant X, um einzelne Teetassen zu lokalisieren. Dazu bestimmt sie deren genaue Koordinaten in Bezug zur Trägerplatte, die Position der Griffe und den Grad der Drehung. Der Bildverarbeitungs-Algorithmus filtert als erstes die Tiefenkarte, um ungewollte Bereiche und Pixel zu entfernen. Dann wird eine Blob-Analyse auf die gefilterte Tiefenkarte angewandt. Dabei wird jeder Tasse ein Blob zugewiesen, der für die Berechnung des größten Höhenwerts genutzt wird, wobei der Intensity Checker innerhalb der Matrox Design Assistant X zum Einsatz kommt. Eine Kombination aus Schritten der Metrologie

und Blob-Analyse werden genutzt, um die Position und Rotation des Griffs jeder Tasse genau zu bestimmen. Diese Koordinaten werden mithilfe von Socket-Kommunikation an den Cobot weitergegeben. Somit kann der Roboterarm mit dem Pick-and-Place-Verfahren beginnen.

Pick-and-Place-System ging innerhalb eines Monats in Betrieb

Der Hersteller produziert Teetassen in vielen Formen und Größen. Mit den flexiblen Flowcharts in Matrox Assistant X konnte das Team von Autech ein Projekt entwickeln, dass auf jede dieser Produktvariationen angewandt werden kann. Dadurch muss der Tassenhersteller nicht mehr unterschiedliche Rezepte implementieren und zwischen ihnen wechseln, was den Bereitstellungsvorgang beschleunigt. Mithilfe eines Software-Ingenieurs und eines Bildverarbeitungsexperten konnte das System innerhalb eines Monats in Betrieb genommen werden. Die größte Herausforderung war die Vielfalt an Porzellanprodukten, die die Anwendung analysieren musste.

Goracci fügte hinzu: „Unsere Kunden waren vom Endergebnis so begeistert, dass wir darüber nachdenken, die Anwendung auf weitere Produkte der Hersteller auszuweiten.“



Die Benutzeroberfläche des Matrox Design Assistant X zeigt dem Bediener die erkannten Positionen von Tassen und deren Henkeln an.

Einsparung von 15 Prozent der Gesamtproduktionskosten

Mit einem zufriedenen Kunden ist ebenso das Team von Autech mit der Entwicklung des 3D-Bildverarbeitungssystems zufrieden. Dadurch konnten sie in Betracht ziehen, neue Bildverarbeitungssysteme in weiteren potenziellen Anwendungen in Bereichen wie der Lebensmittelindustrie einzusetzen und sie planen, zukünftig ähnliche Systeme für andere Kunden zu entwickeln.

„Vorher brauchte der Luxus-Porzellanhersteller zwei Mitarbeiter für die Bedienung des Prozesses“, so Goracci. „Mit der Einführung des auf Matrox Imaging basierten Bildverarbeitungssystems kann nun der komplette Produktionsprozess von nur einem Mitarbeiter überwacht werden, was zu einer Einsparung von 15 Prozent der Gesamtproduktionskosten beitrug – ein voller Erfolg.“ ■



Der 3D-Profilesensor Matrox Altiz ist am Ende des Cobotarms montiert und liefert hochauflösende Scans der weißen Teetassen aus Porzellan.



Stationäre Barcodeleser reduzieren den Personalaufwand und sorgen für störungsfreie Abläufe.

Stationäre Barcodeleser sorgen für einen optimalen Materialfluss

Intralogistikprozesse verbessern

Mit einer Familie stationärer Barcodeleser bietet der Logistikspezialist Zebra Technologies Anwendern leistungsfähige Optionen für einen effektiven Materialfluss. Sie verringern den manuellen Aufwand und tragen wesentlich dazu bei, dass Track-and-Trace-Prozesse reibungslos funktionieren.

Die Anforderungen an Geschwindigkeit und Genauigkeit bei der Warenverfolgung in Logistik- und Produktionsketten sind in der Vergangenheit laufend gestiegen und erforderten immer mehr Leistungsfähigkeit bei den Barcodelesern: Hohe Leseraten und eine Minimierung von fehlerhaften oder gar nicht erfolgten Codelesungen sind heute die grundlegende Voraussetzung dafür, Objekte präzise nachzuverfolgen.

Um die nötige effektive Wirtschaftlichkeit im Unternehmen zu erzielen, geht der Trend zudem seit einiger Zeit hin zu stationären Codelesern, die den manuellen Aufwand für die Mitarbeiter verringern und somit we-

sentlich dazu beitragen, jederzeit alle nötigen Informationen mit größtmöglicher Sicherheit zur Verfügung zu haben. Eine besondere Herausforderung ergibt sich bei diesen fest installierten Systemen immer dann, wenn die Abstände zwischen Leser und Objekt zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Produktgrößen häufig variieren.

Stationäre Barcodeleser: 10 Prozent höhere Leseraten

Stationäre Barcodeleser bieten in zahlreichen Einsatzszenarien effektive Lösungen. So erleichtern und beschleunigen sie beispielsweise die Arbeitsabläufe beim manuellen Scannen von Codes, indem die Mitarbeiter die Ware nur unter einem oberhalb angebrachten Codeleser hindurchführen, ohne den Leser selbst in die Hand nehmen zu müssen. Auf diese Weise lassen sich Objekte verschiedener Abmessungen mit unterschiedlichen Code-Typen unabhängig von der Körpergröße der Mitarbeiter einfach, sicher und schnell handhaben. Die dadurch gewonnene Zeit können die Mitarbeiter für höherwertige Aufgaben nutzen.

Werden verpackte oder unverpackte Waren automatisiert auf Transportbändern



Auch das Überprüfen von Codes auf Bauteilträgern ist eine gängige Anwendung von stationären Barcodelesern in der Qualitätssicherung. Hier kontrollieren sie die korrekte Bestückung.

durch die Prozesse geführt, so spielen stationäre Barcodeleser ihre Vorteile noch besser aus. Derartige Inline-Anlagen erfordern einen erheblichen geringeren Personalaufwand und schaffen zudem die Voraussetzung für pausenfreie Prozesse, die rund um die Uhr ohne Ermüdung laufen können. Aktuelle Praxistests zeigen im Vergleich zu manuell durchgeführten Lesevorgängen eine Verbesserung der Leseraten im Bereich von bis zu 10 Prozent und somit eine deutliche Steigerung der Effektivität. Die Kombination aus stationären Barcodelesern und Transportbändern, auf denen Waren zum Lesen von 1D- und 2D-Codes vorbeigeführt werden, bildet ein hervorragendes Setup in vielen Applikationen in der Produktion, bei der Qualitätsprüfung, bei Verpackungsprozessen sowie bei der Ein- und Auslagerung von Objekten.

Labels direkt nach deren Druck zu prüfen erhöht die Leserate zusätzlich

Anwendungen, bei denen Labels mit Informationen zum Produkt oder zum Produktionsablauf während des Prozesses gedruckt und angebracht werden, sind ein weiteres Feld, auf dem stationäre Barcodeleser ihre Stärken ausspielen. Mit ihrer Hilfe lässt sich

sehr schnell, sicher und automatisiert überprüfen, ob die Labels vorhanden, korrekt angebracht, von ausreichender Qualität und die gedruckten 1D- und 2D-Codes lesbar sind. Durch die frühzeitige Prüfung, beispielsweise direkt nach dem Druck der Labels, reduzieren derartige Systeme den manuellen Aufwand und die Fehlerquote erheblich und sorgen für störungsfreie Abläufe im weiteren Prozess.

Als letztes Beispiel für den wirtschaftlichen Einsatz von stationären Barcodelesern sei die Montageüberprüfung genannt, die in vielen Industriezweigen oft noch manuell oder mit aufwendigeren Systemen durchgeführt wird. Codeleser, die fest montiert über Kontrollstationen angebracht sind, ermöglichen ein sicheres Überprüfen von Codes auf Bauteilen, um deren korrekte Bestückung für Qualitätskontrollen sicherzustellen.

Vier stationäre Barcodeleser

Zebra Technologies ist ein Anbieter von Automatisierungslösungen für die Industrie und hat sein Angebot vor kurzem um den Bereich stationäre Barcodeleser erweitert. Die innovative Produktfamilie umfasst aktuell vier Modelle:

- das kompakte Plug&Play-Gerät FS10 für einfache Track-and-Trace-Anwendungen ohne Vernetzung,
- das kompakte, vernetzbare Barcodelesegerät FS20, das einfache Track-and-Trace-Anwendungen mit Netzwerkanbindung ermöglicht,
- das Modell FS40, das mit seinem großen Funktionsumfang auch für komplexere Track-and-Trace-Anwendungen ausgelegt ist, und
- das Barcodelesegerät FS70, das vollständig an die Vorgaben der jeweiligen Anwendung angepasst werden kann und dadurch auch für schwierige Track-and-Trace-Anwendungen geeignet ist.

Zusätzlicher Funktionsumfang per Software-Update

Eine Besonderheit aller stationären Barcodelesegeräte von Zebra Technologies ist, dass sie so flexibel sind, dass sie sich einfach an wechselnde Geschäfts- und Kundenanforderungen anpassen lassen. Anwender müssen daher bei der Planung ihrer Anlagen nicht bereits alle möglichen zukünftigen Szenarien berücksichtigen, sondern können sich voll auf die aktuell vorliegenden Aufgabenstellungen konzentrieren. Sollten zu einem späteren Zeitpunkt Erweiterungen erforderlich sein, so lassen sich diese über entsprechende Upgrades problemlos und schnell durchführen. Diese Flexibilität führt für Anwender zu einer hohen Rentabilität der gekauften Geräte und gibt ihnen bei wachsenden Anforderungen alle Freiheiten.

Welche Vorteile dies bietet zeigt folgendes Beispiel: Wenn in einer Anlage aktuell nur die

Die stationären Barcodeleser von Zebra kommen in zahlreichen Anwendungen zum Einsatz.



reine Erfassung von 1D- und 2D-Barcodes realisiert werden soll, so genügt dazu ein einfaches stationäres Barcodelesegerät wie das FS10. Falls es in dieser Anwendung später erforderlich wird, zusätzlich auch direkte Teilemarkierungen oder Klartext zu erfassen, so lässt sich diese Aufgabe durch den Erwerb einer entsprechenden Softwarelizenz innerhalb kürzester Zeit lösen.

Sämtliche Barcodelesegeräte lassen sich mit derselben Software-Plattform steuern

Häufig liegen die Kosten für die Programmierung und Einrichtung von Automatisierungsgeschäften deutlich über den Hardware-Kosten. Wer diese Aufgaben in kürzerer Zeit lösen kann, spart Personalkosten und verringert somit die Gesamtinvestition. Vor diesem Hintergrund hat Zebra Technologies Aurora entwickelt, eine besonders einfache und elegante Lösung zur Steuerung der unternehmensweiten Automatisierung von Fertigung und Logistik. Diese Software-Schnittstelle ermöglicht das Konfigurieren, Bereitstellen und Bedienen aller stationären Barcodelesegeräte eines Unternehmens.

Die Bedienoberfläche von Aurora stellt Arbeitsprozesse logisch dar und ermöglicht es Anwendern, ohne langes Suchen nach benö-

tigten Funktionen mit einem oder zwei Klicks auch komplexe Einstellungen über Schieberegler und Optionsfelder vorzunehmen. Auch Einsteiger finden sich auf der übersichtlichen Verwaltungsplattform schnell zurecht, denn sie werden in der richtigen Reihenfolge durch alle erforderlichen Schritte geführt. Sollten während der Einrichtung dennoch Fragen auftauchen, so liefert die integrierte Hilfe mit Tutorials, Anleitungen und Videos zu allen Aspekten der Software und des umfassenden Verwaltungs-Toolsets schnelle Antworten.

Auch die Kameras sind kompatibel mit der Software

Neben den stationären Barcodelesegeräten hat Zebra Technologies intelligente Kameras für die industrielle Bildverarbeitung entwickelt. Auch diese Produktfamilie lässt sich über Aurora auf einfache Weise verwalten. Anwender, die in ihren Anlagen beide Produktgruppen einsetzen, profitieren somit von einer schnelleren Einarbeitung, weniger Schulungsaufwand und einer einfachen, einheitlichen Architektur der erforderlichen Software-Tools zur Steuerung ihrer unternehmensweiten Fertigungs- und Logistiklösungen.

Lager- und Logistikanwendungen profitieren am meisten

Mit seinen stationären Barcodelesern adressiert Zebra Technologies vor allem Lager- und Logistikanwendungen, jedoch auch die Herstellung von Produkten jeglicher Art und viele andere Industriebereiche, in denen das effektive, automatisierte Erfassen und Lesen von Barcodes eine wesentliche Voraussetzung für wirtschaftliche Prozesse ist. Das Unternehmen nutzt dabei seine langjährigen Erfahrungen im Bereich des Barcodelesens. ■

Unternehmen im Detail

Zebra Technologies

Zebra Technologies wurde 1969 gegründet und hat sich seitdem zu einem internationalen Unternehmen unter anderem in den Bereichen Spezialdruck und Verbrauchsmaterialien, Barcode-Scannen, mobile Computer und robuste Tablets, RFID und Echtzeit-Ortungssysteme (RTLS), intelligente Lösungen für das Personalmanagement sowie intelligente Automatisierungssysteme entwickelt. Das Unternehmen beschäftigt rund 8.800 Mitarbeiter in 130 Niederlassungen in 54 Ländern, kooperiert mit über 10.000 Vertriebspartnern und hat bereits über 5.300 Patente angemeldet.

AUTOR Rudolf Schambeck

Business Development DACH – MV/FIS bei
Zebra Technologies Europe

KONTAKT

Zebra Technologies Europe Ltd, Bourne End,
Großbritannien
Tel.: +44 1628 556 000
contact.emea@zebra.com
www.zebra.com



In enger Zusammenarbeit entwickelten MBO Postpress Solutions und Phil-Vision das VT50, ein System zur optischen Falzqualitätskontrolle VT50.

Perfekte Falzqualität durch Bildverarbeitung

Optisches Falzqualitätskontrollsystem in der Druckerei

Zeitschriften, Bücher oder Prospekte haben ein handliches Format, gedruckt werden sie jedoch auf großen Bogen, circa im Format A0. Diese Bogen werden in Falzmaschinen gefalzt, geschnitten und gebunden. Um dabei Fehler und Ausschuss zu vermeiden, kommt ein optisches Falzqualitätskontrollsystem zum Einsatz.

Schon heute produzieren Falzmaschinen autonom und das körperlich anstrengende Abstapeln der gefalzten Bogen übernimmt ein Roboter. Was bisher jedoch für einen komplett durchgängig automatisierten Weiterverarbeitungsprozess fehlte, war eine autarke Falzqualitätskontrolle, denn Papier ist schwierig in der Handhabung, und die beste Falzmaschine kann nicht verhindern, dass einzelne Bogen nicht präzise gefalzt sind. Ein ungenau gefalzter Bogen führt jedoch dazu, dass einzelne Seiten schräg ausgeschnitten werden, was Verlage und Leser nicht akzeptieren.

Wie können diese Prozesse künftig automatisiert werden und wie können die Mitarbeiter entlastet werden, war die Fragestellung, mit der sich MBO Postpress Solutions, ein führender Hersteller von Falzmaschinen, konfrontiert sah. Da im Unternehmen keine Bildverarbeitungsspezialisten tätig sind, wurde mit Phil-Vision ein erfahrener Systemintegrator ins Boot geholt. Nach einem

ersten Austausch über die Aufgabenstellung begann eine intensive Planungsphase und in enger Zusammenarbeit entwickelten MBO Postpress Solutions und Phil-Vision das VT50, ein System zur optischen Falzqualitätskontrolle VT50.

Hochwertig und fehlerfrei falzen

Die Falzmaschine verarbeitet große bedruckte Papierbogen und falzt sie dabei so, dass die Seiten des späteren Produkts präzise und in der richtigen Reihenfolge übereinander liegen. Das Inspektionssystem stellt sicher, dass die mehrfach gefalzten Druckbogen, die die vorgelagerte Falzmaschine produziert, eine gleichbleibend hohe Falzgenauigkeit aufweisen. Dazu misst es die Abstände zwischen den Schneidmarken und den hinteren und seitlichen Bogenrändern auf beiden Seiten der gefalzten Bogen. Bereits ein einzelner fehlerhafter Falz im Bogen hat Auswirkungen auf die gemessenen Abstände und wird erkannt.

Liegt ein Bogen nicht innerhalb der voreingestellten Toleranz, wird er bei laufender Produktion ausgeschleust. Die akzeptierten Toleranzen lassen sich dabei in fünf Qualitätsstufen festlegen. Sind mehrere Bogen in Folge nicht in Ordnung, schaltet sich die Produktionsanlage aus, und der Bediener nimmt entsprechende Einstellungskorrekturen an der Falzmaschine vor. Er muss dieser aber nur dann seine Aufmerksamkeit schenken, wenn der VT50 ein andauerndes Problem mit der Falzqualität festgestellt hat, wodurch er Zeit für andere Aufgaben gewinnt.

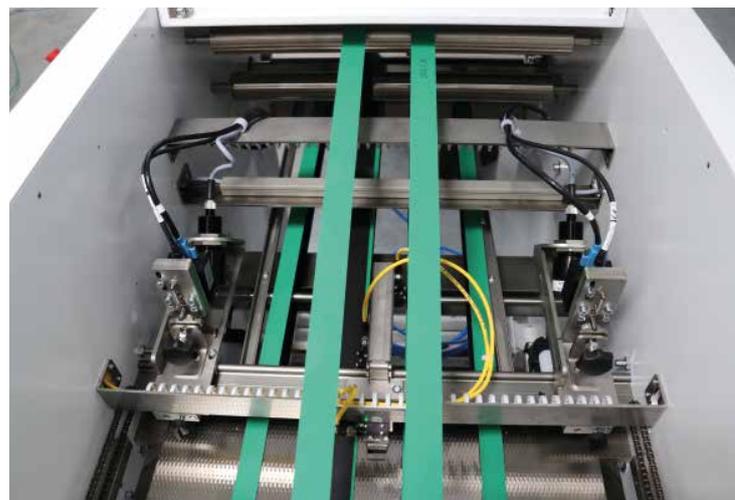
Intensive Zusammenarbeit als Schlüssel zum Erfolg

Bis das System zufriedenstellend arbeitete, war es ein ziemlich langer Weg, der viele Änderungen und Anpassungen mit sich brachte. Da es bei MBO keine Bildverarbeitungsspezialisten im Haus gab, übernahm Phil-Vision die komplette Projektierung. Angefangen von Machbarkeitsuntersuchungen über die Komponentenauswahl, Unterstützung bei der Programmierung bis zur Hilfe bei der Integration mit der SPS.

Eine wesentliche Herausforderung an das Bildverarbeitungssystem war die hohe Geschwindigkeit, mit der es messen muss. Die Papierbogen bewegen sich mit Geschwin-



Die beiden Kameras vermessen die Schneidmarkenposition relativ zur Papieraußenkante.



Unter kontrollierten Lichtverhältnissen prüfen zwei Kameras die Qualität der gefalzten Bogen.

digkeiten von bis zu 180 m/min und können zur Messung nicht angehalten werden. Hinzu kommt eine Zykluszeit von circa 0,1 Sekunden. Gleichzeitig musste die Wirtschaftlichkeit gewahrt werden. Das finale System

Anwender im Detail

MBO Postpress Solutions

MBO Postpress Solutions ist ein Tochterunternehmen des japanischen Druckmaschinenherstellers Komori. MBO entwickelt, produziert und vertreibt Falzmaschinen und Roboter für die Weiterverarbeitung von Digital- und Offsetdruck sowie für Mailing-, Pharma- und Sonderanwendungen.

Die MBO-Gruppe beschäftigt circa 385 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Am Hauptsitz im schwäbischen Oppenweiler, 40 km nordöstlich von Stuttgart, arbeiten etwas mehr als 100 Kolleginnen und Kollegen. Gegründet wurde das Unternehmen im Jahr 1965. MBO hat Standorte in Deutschland, Portugal und den USA. Der Sitz des auf Sondermaschinenbau spezialisierten Tochterunternehmens H+H befindet sich in Bielefeld.

basiert auf zwei hochsensiblen Farbkameras, die unter kontrollierten Lichtverhältnissen mit aufeinander abgestimmten Aufricht- und Gegenlichtbeleuchtungen die Qualität der fertig gefalzten Bogen überprüfen.

Das System wurde im Rahmen der Thementage „Schneiden und Falzen“ der Postpress Alliance erstmalig im Juni 2021 vorgestellt und bewährt sich seither im praktischen Einsatz.

Peter Steinbrück, verantwortlicher Projekt Manager bei Phil-Vision, zu den Heraus-

Unternehmen im Detail

Phil-Vision

Phil-Vision ist Spezialist für industrielle Bildverarbeitung und Computer Vision. Basierend auf langjähriger Erfahrung realisiert das Unternehmen maßgeschneiderte Lösungen für anspruchsvolle Bildverarbeitungsaufgaben für viele Branchen und Aufgabenstellungen. Die Dienstleistungen reichen dabei über Co-Entwicklung hinaus und umfassen Service Level Agreements, Schulungen und Know-how-Transfer sowie die kontinuierliche Wartung während der Projektlaufzeit.

des Entwicklungs-Teams bei Phil-Vision und MBO war der Schlüssel zur optimalen Lösung. Von Anfang an wurde sehr offen miteinander gesprochen. Deshalb wurde die Software so geplant, dass die Auswertestrategie schnell und mit wenig Aufwand angepasst werden konnte. Wegen der hohen Taktrate der Anlage ist die gesamte Prozesszeit je Bogen auf 40 ms begrenzt. Durch die Wahl sehr einfacher, aber hochperformanter Bildverarbeitungswerkzeuge wurde auch diese Vorgabe locker erfüllt.“

Sebastian König, Entwicklungsleiter bei MBO, fasst die Zusammenarbeit mit Phil-Vision zusammen: „Die Zusammenarbeit war sehr professionell. Es wurde in jeder Projektphase sehr viel Wert auf Präzision und



Die vollständige Druckanlage

forderungen des Projektes: „Während des Projektes gab es eine Vielzahl an Veränderungen, wie unterschiedliche Formen und Anordnungen der Markierungen, Vergrößerung des Bildfelds, oder störende Elemente im Bild. In der ursprünglichen Planung des Projekts waren Farb-Kontrollmarken auf den Rändern, verschmierte Schneidmarken und zum Teil sichtbare Seiteninhalte nicht berücksichtigt, jedoch durften diese die Auswertung letztlich nicht beeinflussen. Die enge und zielgerichtete Zusammenarbeit

Details gelegt. Positiv waren auch die schnellen Reaktionszeiten, das Projektmanagement und generell die hohe Kompetenz.“ ■

AUTORIN

Astrid Sommerkamp
Marketing Manager bei Phil-Vision

KONTAKT

Phil-Vision GmbH, Puchheim
Tel.: +49 89 125 094 350
info@phil-vision.com
www.phil-vision.com

Alle Bilder: Phil-Vision



PLM-Konnektoren ermöglichen es PLM- und Polyworks-Anwendern, digital auf CAD- und 3D-Messdaten zuzugreifen, was Fehler und Zeitverluste vermeidet, die durch einen manuellen Datenaustausch entstehen.

Software verknüpft PLM mit aktuellen Messdaten

PLM-Konnektoren für Polyworks Dataloop

Eine Software ermöglicht es, digitale Ökosysteme für Produktlebenszyklusmanagement und 3D-Messungen zu verknüpfen, um leichter Produktdefinitionen gemeinsam zu nutzen und direkten Zugriff auf 3D-Messdaten zu haben.

Innovmetric, Anbieter von 3D-Messtechnik-Softwarelösungen, hat PLM-Konnektoren für Polyworks Dataloop veröffentlicht, mit denen sich das Product Lifecycle Management und die Messdaten aus Polyworks 3D verknüpfen lassen. Dann können Produktentwicklungs-, Fertigungs- und 3D-Messteams gemeinsame Produktdefinitions- und 3D-Messdaten nutzen. Der dadurch mögliche schnelle Zugriff auf die neuesten Informationen erleichtert die Entwicklung neuer Produkte und erhöht die Effizienz der Qualitätssicherungsprozesse. Zu den unterstützten PLM-Systemen gehören Siemens Teamcenter, PTC Windchill und Contact CIM Database.

Marc Soucy, Präsident von Innovmetric, erklärt: „Für Anwender von Polyworks Inspector bedeutet dies, dass sie ihre CAD-Modelle und Daten direkt aus dem PLM-System importieren können. Konstrukteure und Fertigungsspezialisten können nun über ihre PLM-Schnittstelle auf 3D-Messergebnisse zugreifen.“

Universeller digitaler Zugriff auf CAD- und 3D-Messdaten

PLM-Konnektoren ermöglichen es PLM- und Polyworks-Anwendern, digital auf CAD- und 3D-Messdaten zuzugreifen, was Fehler und Zeitverluste vermeidet, die durch einen manuellen Datenaustausch entstehen:

- Polyworks-Inspector-Anwender können nach im PLM gespeicherten CAD-Mo-

dellen und Baugruppen suchen und jede Revision direkt importieren.

- PLM-Benutzer können auf 3D-Messdaten und Ergebnisse mit einem Klick durch abgespeckte Inspektions-Projektobjekte zugreifen, die mit in einer Polyworks-Dataloop-3D-Messdatenbank gespeicherten Projekten verknüpft sind.

Unternehmen im Detail

Innovmetric

Innovmetric Software wurde 1994 gegründet und hat seinen Hauptsitz in Quebec, Kanada. Das Unternehmen ist Anbieter von universell einsetzbarer von 3D-Mess-Software. Die weltweit größten Industrieunternehmen (Toyota, GM, Volkswagen, Honda, BMW, Daimler, Ford, Rolls-Royce, Pratt & Whitney, Boeing, Embraer, Bombardier, Apple und viele mehr) setzen die PolyWorks-Software-Lösungen von Innovmetric und die damit verbundenen Technologien ein.

Mit den Tochtergesellschaften und Joint Ventures beschäftigt das Unternehmen rund 450 Mitarbeiter in 16 Ländern. Dazu gehören neben Kanada die USA, Mexiko, Brasilien und Frankreich sowie Italien und Spanien.

Digitale PLM-Prozesse werden durch 3D-Messdaten unterstützt

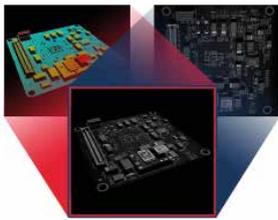
PLM-Konnektoren tragen zur Verbesserung der Produktqualität bei, indem sie 3D-Messdaten in digitale PLM-Unternehmensprozesse integrieren. Die größten Vorteile bieten sie zum Beispiel bei folgenden Anwendungen:

- **Technische Änderungen:** Zugriff auf 3D-Messdaten aus dem PLM zur Fehlersuche bei Konstruktions- und Fertigungsproblemen und zum Überprüfen einer Korrektur
- **Revisions-Rückverfolgbarkeit:** Dokumentieren der Ursachen für technische Änderungen durch Hyperlinks, die auf relevante 3D-Messdaten und Diskussionsbeiträge verweisen.
- **Optimierung des Genehmigungsprozesses:** höhere Effizienz bei bestehenden PLM-basierten Genehmigungsprozessen, indem CAD-Revisionen mit den entsprechenden 3D-Messdaten verknüpft werden.
- **Ständige Verbesserung:** Analysieren der aktuellen Fertigungsprozessfähigkeiten, um die nächsten Produktdesigns zu verbessern. ■

KONTAKT

Duwe-3d AG, Lindau
Tel.: +49 8382 275 901 20
Fax: +49 8382 275 90 29
vertrieb@duwe-3d.de
www.duwe-3d.de

Bild: Duwe 3D



3D-Sensor für die Elektronik-inspektion

Um den Inspektionsprozess in der Elektronikbranche zu verbessern, hat AT – Automation Technology seine 3D-Sensoren mit einer Funktion namens Multipart ergänzt. Damit lassen sich unabhängig vom Pixelformat oder vom Algorithmus zehn Features gleichzeitig ausgeben. Zusätzlich zu der Information über mehrere Peaks (Multi-peak), die häufig unverzichtbar für das Unterdrücken von Sekundärreflexen der Laserlinie ist, erhält der Kunde durch Multipart Zusatzdaten wie Reflectance, Scatter oder Confidence. Das ermöglicht es, eine fotorealistische Darstellung des Prüfobjekts zu generieren. Es lassen sich damit auch 2D-Inspektionsaufgaben wie Schrifterkennung oder Inspektion von QR-Codes einfach implementieren. Und das nach dem Standard GenICam3D und in Form eines Plug&Play-Prinzips, sodass die Präzision steigt und die Applikationsentwicklung schneller geht.

www.automationtechnology.de



Steuerbarer Hochgeschwindigkeitsspiegel für Barcode-Lesegerät

Cognex hat einen steuerbaren Hochgeschwindigkeitsspiegel auf den Markt gebracht. Dieser wurde für den Einsatz mit dem Barcode-Lesegerät Dataman 470 entwickelt und optimiert das Scannen und Lesen von Barcodes auf großen Sichtfeldern mit einem kompakten System.

Der steuerbare Spiegelaufsatz erweitert das Sichtfeld des Dataman 470 vertikal und horizontal und verleiht den 3MP- und 5MP-Barcode-Lesegeräten eine effektive Auflösung, die größer ist als die eines 50MP-Sensors. Dieses System kann das Sichtfeld und die Tiefenschärfe dynamisch verändern. Es eignet sich für Anwendungen, die eine hohe Auflösung und damit bislang mehrere Kameras erforderten. Das Scannen von Paletten, die Aggregation und andere großflächige Anwendungen lassen sich mit dem neuen steuerbaren Hochgeschwindigkeitsspiegel somit erheblich effektiver realisieren.

www.cognex.com



DC-Labornetzgeräte bis 1500 W

Emtron erweitert sein Programm an Stromversorgungen um die intelligente und programmierbare ILS-Labornetzteileserie des Herstellers Advanced Energy. Die Netzteile eignen sich für den Einsatz in der Messtechnik, der automatisierten Prüfgeräte und für Anwendungen aus der Forschung und Entwicklung geeignet. Sie sind als Tischgeräte oder für den Einbau in einen 19-Zoll-Rack konzipiert. Die 12-Bit-Digital/Analog- und Analog/Digital-Wandler sorgen für genaue Spannungs- und Strommessungen. Die Remote-Sense-Funktion regelt die Gleichspannung an der Last ohne zusätzliche Senseleitungen und reduziert so das Rauschen erheblich. Digitale Drehregler ermöglichen eine schnelle Einstellung und Feinabstimmung von Ausgangsspannung und -strom. Anschlüsse an der Vorderseite (iLS600) oder Rückseite (iLS600-R, iLS1500) ermöglichen ein Fernsteuern über USB, Ethernet und analoge Steuereingänge.

www.emtron.de



3D-Scanner für die automatisierte Qualitätssicherung

Creaform stellt Ergänzungen der Produktreihe der R-Serie vor, einschließlich des neuen 3D-Scanners Metrascan-R Black Elite HD mit verbesserter Performance sowie einer neuen Version von VX Elements, die für langfristigen Support (LTS) entwickelt wurde. Diese Lösungen beinhalten zudem eine neue Version des VX-Scan-R-Moduls, das für kundenspezifische Layouts automatisierter 3D-Scanzellen entwickelt wurde und gleichzeitig die Benutzerfreundlichkeit seiner digitalen Zwillingsprogrammierung beibehält.

Der Metrascan-R Black Elite HD bietet ein größeres Sichtfeld für ein verbessertes Leistungsniveau bei anspruchsvollen Anwendungen, wie etwa 3D-Messungen von Blechteilen. Mit seinen 69 Laserlinien und 3.000.000 Messungen/Sekunde eignet sich dieser 3D-Scanner für Bauteile mit vielen Kanten, Beschnitt und Rändern.

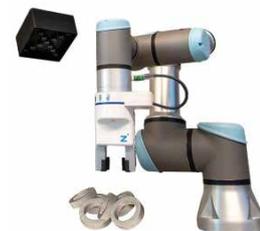
www.creaform3d.com



2K-Miniaturbauform erweitert Produkt-Serie

Optoelektronische Sensoren vom Typ 2K sind die neuesten Mitglieder der PNG-Smart-Produktserie von Wenglor. Mit ihren V4A-Edelstahlgehäusen mit Schutzart IP69K widerstehen sie Hochdruckreinigungen bis 100 Bar bei Temperaturen bis 80 °C, aggressiven Reinigungs-, Kühl- und Schmiermitteln sowie mechanischen Einflüssen und Korrosion. Sie können Distanzen messen, Objekte erkennen und via IO-Link kommunizieren. Die leicht in jede Anlage zu integrierende Miniaturbauform steht Anwendern in sechs Funktionsprinzipien und drei Lichtarten zur Verfügung: Als Reflextaster energetisch und Reflextaster mit Hintergrundausbldung, Spiegelreflexschranken universal oder für transparente Objekte, Einweglichtschranken und Laserdistanzsensoren Long-Range gibt es ab sofort im V4A-Gewand. Insgesamt stehen wahlweise drei Lichtarten zur Verfügung: Rot, Blau und Laser.

www.wenglor.com

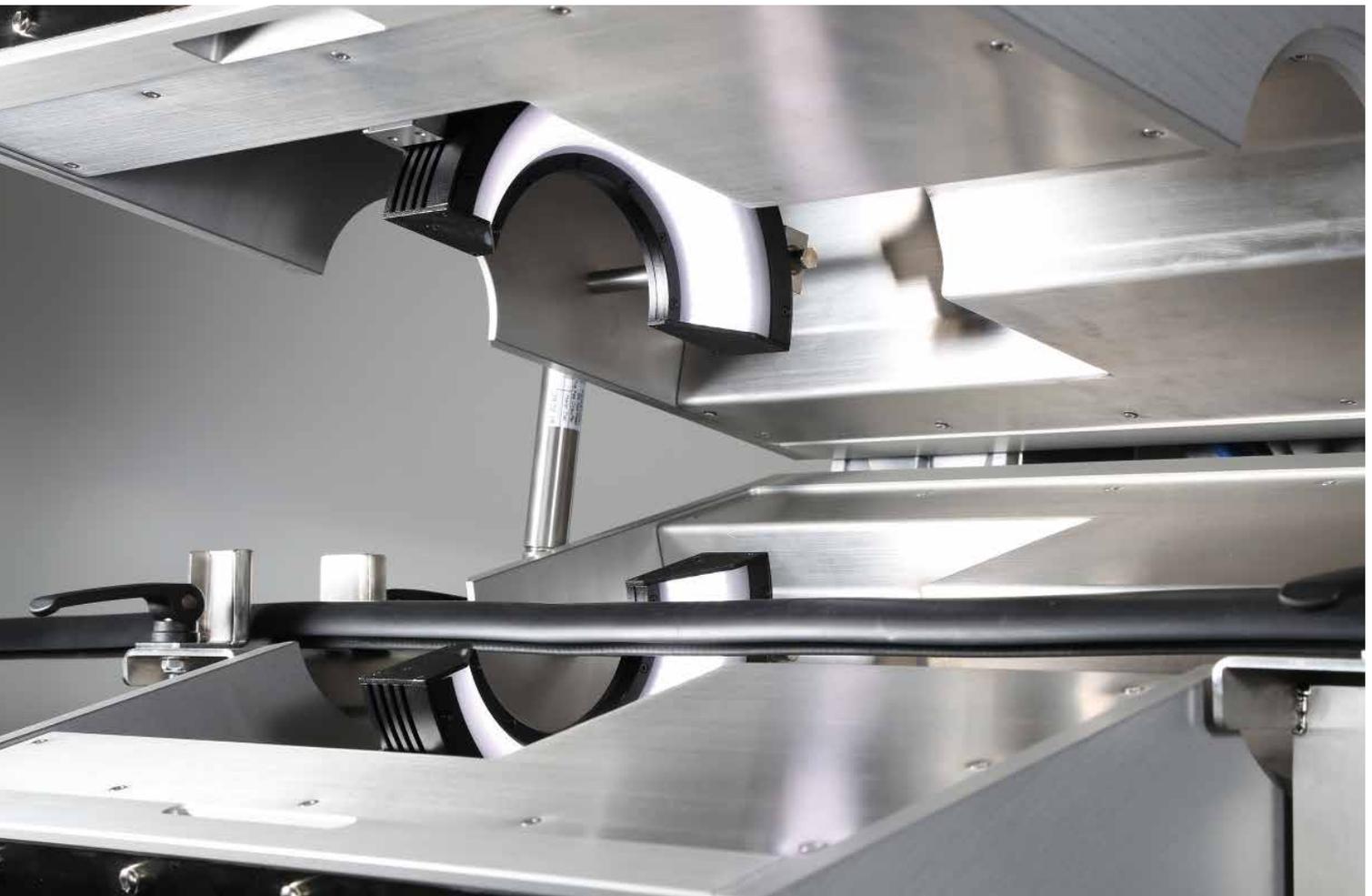


Bin-Picking-Lösung ab sofort auf UR+ HD Vision Systems bietet die eigene Bin-Picking-Lösung Lumiscan Binpick jetzt auch auf UR+ an, der Automatisierungsplattform des Roboterherstellers Universal Robots. Mit Lumiscan Binpick unterstützt das Vision-Unternehmen Nutzer bei einer schnellen Automatisierung ohne aufwendige Implementierung. Mit dem Lösungspaket lässt sich jedes UR-Cobot-Modell in eine linienfertige Bin-Picking-Station verwandeln.

Die Lösung eignet sich, um Werkstücke mit komplexen oder metallisch-glänzenden Oberflächen zu greifen und zu platzieren. Mit dem Multikameraansatz vermindert der im System enthaltene Sensor Lumiscan X Verdeckungen. Als Lösung für den Materialumschlag greift Lumiscan Binpick nicht aktiv in die Robotersteuerung ein. Stattdessen sendet das System kollisionsfreie Trajektorien an den angeschlossenen Cobot. Ab dem zweiten Griff ist dies vollkommen ohne Standzeiten möglich.

Ab dem zweiten Griff ist dies vollkommen ohne Standzeiten möglich.

www.hdvvisionsystems.com



Profilcontrol 7 Dualvision von Pixargus liefert zugleich Oberflächeninformationen und Geometriedaten. Der Lichtring und das Ausleuchtungskonzept sorgen für ein homogenes Ausleuchtungs- und Messfeld. Das System detektiert so auch kaum sichtbare topografische Fehler.

Gleichzeitig Oberflächenfehler und Maßhaltigkeit von Dichtungen prüfen

Profilprüfsystem in der Automobilindustrie

Kleinste Unebenheiten wie Stippen und Pickel auf den Dichtungen für Autohersteller wie BMW, Porsche und Bentley erkennt ein Profilprüfsystem sofort. Zeitgleich kontrolliert es deren Maßhaltigkeit.

Auf den 14 Fertigungsstraßen im niedersächsischen Bockenem laufen eng getaktet Profile vom Band. Hier am Stammsitz von Meteor entstehen Dichtungen für Türen, Fenster, Kofferräume, aber auch Zierleisten und alles, was um die Fahrgastzelle herum ist. „Wir sind Experten für sehr komplexe Dichtungssysteme“, erklärt Marvin Ludwig, Leiter Prozesstechnik & Digitalisierung. Rund 1.000 Mitarbeiter forschen, entwickeln und produzieren hier für Kunden aus der Automobilindustrie und weiteren Sektoren. „Die Extrusion ist das Herzstück des Standortes.“

Was in Bockenem gefertigt wird, soll später vor allem Kunden der europäischen

Premiumfahrzeughersteller überzeugen. „Die Dichtungen und die Materialien sind besonders hochwertig. Die Qualitätsstandards liegen eine ganze Ecke höher“, erzählt der Verfahrensspezialist. Ein Grund, warum sich die Referenzliste der Niedersachsen wie das Who-is-who der Premiumhersteller liest – von Daimler über BMW und Porsche bis hin zu Bentley und Rolls Royce. Die Qualität aus Bockenem fällt den anspruchsvollen Autofahrern später buchstäblich ins Auge. „Das größte Qualitätskriterium ist für uns: Man sieht unsere Dichtungen im Auto“, erklärt Ludwig. „Wenn Sie die Tür öffnen, haben Sie direkt einen Blick auf unsere Produkte.“

Oberflächenprüfung und Geometrie- vermessung in einem Schritt

Die Oberflächeninspektion ist für die Dichtungsexperten deshalb wichtigste Aufgabe. An den Linien ist dazu Mess- und Prüftechnik von Pixargus im Einsatz. Das Inspektionssystem Proficontrol Dualvision hat hier kleinste Unebenheiten wie Stippen und Pickel aus der Mischung oder den Kleb- und Beflockprozessen mit Argusaugen im Blick. Fehlerstellen werden inline markiert und das Produkt sofort ausgeschleust. Im werkseigenen Prüflabor werden später noch Stichproben überprüft. „Aber das Pixargus-System ist das wichtigste Kontroll-System für unsere Produkte“, urteilt Ludwig.



Bei der Qualitätssicherung setzt der Dichtungshersteller Meteor seit 25 Jahren auf Messtechnik von Pixargus. „Das System ist das wichtigste Kontrollinstrument für unsere Produkte“, sagt Marvin Ludwig, Leiter Prozesstechnik & Digitalisierung von Meteor.



Qualitätsdaten im Blick: Auf dem Monitor ist Oberflächenbewertung für Laufmeter 1125 zu sehen. Sechs der acht Systemkameras lieferten die Daten dazu.

Neben der Optik ist die Funktionalität entscheidend. Die Inline-Inspektionssysteme aus Würselen überwachen deshalb auch die Kontur der Profile. Damit später keine Feuchtigkeit und kein Stäubchen ins Fahrzeug dringen, müssen die Dicht- und Schließkräfte stimmen, weiß der Meteor-Manager. Ist eine Türdichtung zu groß, muss man die Tür später mit deutlich mehr Kraftaufwand schließen. Ist sie zu klein, fehlt die Dichtwirkung. „Deshalb ist die Geometrievermessung für uns essenziell.“

Chargenschwankungen werden sofort erkannt

An den mehrere hundert Meter langen Fertigungsanlagen sind aktuell 23 Prüfsysteme von Pixargus im Einsatz. Die meisten davon Dualvision-Systeme, die Oberflächeninspektion und Dimensionsvermessung in einem Inline-Inspektionssystem kombinieren. „Jeder Meter Platz, den man durch die Kombigeräte schafft, hilft natürlich“, erklärt Ludwig.

Die Rezepturen für die Dichtungen entstehen in der eigenen Mischerei. Meteor ist Spezialist für Elastomer-Kombinationen und extrudiert viele Gummimischungen im gleichen Verfahren in einem Profil. Dabei können Messwerte, die mit den Maschinen der Rheinländer erhoben werden, helfen. „Wenn Pixargus nach Anfütern einer neuen Mischung gleich mehrere Fehler detektiert, dann wissen wir, dass wir ein Problem mit unserer Mischungscharge haben.“

Qualitätsdaten fließen direkt an die Leitsysteme

In Bockenem wird die Fertigung gerade kräftig digitalisiert: Leitsysteme tracken die Pro-

zesskette heute über alle Aggregate von der Mischung bis zum fertigen Extrusionsprodukt. Die Prüfsysteme sind in übergeordnete Leitsysteme eingebunden, die Qualitätsdaten ein wichtiger Zugriffspunkt. „Mit den Geometrie- und Oberflächenwerten von Pixargus können wir die Prozesskette durchleuchten und gezielte Optimierungen durchführen“, so Ludwig.

Der promovierte Maschinenbauer und Materialforscher kam vor vier Jahren aus der Forschung zu Meteor und verantwortet seit gut eineinhalb Jahren das gesamte Prozess-Engineering. Er weiß: „Rund um die Produktion herum, von der Verarbeitung bis zum Thema Industrie 4.0 ist heute viel Bewegung drin“. Pixargus ist seit 25 Jahren Schlüssellieferant des Dichtungsspezialisten. Als im letzten Jahr der Kauf neuer Messtechnik auf der Agenda stand, hat sich auch Ludwig für den Experten aus Würselen entschieden.

Optische Inspektion umfasst auch flache, langgezogene Fehler

Michael Frohn ist damals mit seinem Team zur Demo nach Bockenem gereist, im Gepäck den Bestseller Profilcontrol 7. „Die aktuelle Systemgeneration ist noch performanter“, freut sich der Vertriebsleiter von Pixargus. So könne die optische Kontrolle jetzt auch flache, langgezogene, also kaum sichtbare topografische Fehler noch besser detektieren. Die neuen Systeme sind noch kompakter ausgelegt und justieren sich weitestgehend selbst. Daher können sie beim Dichtungsspezialisten mit wenigen Handgriffen an den Start gehen, lassen sich schnell mit der Produktion vernetzen und auch auf eine andere Linie umrüsten. „Wir treiben die einfa-

che Integration in die Linie und die schnelle Umrüstbarkeit noch weiter voran“, erzählt der Vertriebsleiter des Messtechnikherstellers. In Zukunft soll auch der Techniker für die Inbetriebnahme der Systeme entbehrlich sein. „Unser Ziel heißt: Plug & Play“, bringt es Frohn auf den Punkt. Auf die langjährige Zusammenarbeit mit dem Dichtungshersteller ist man in Würselen stolz. „Meteor gehört zu den Kunden der ersten Stunde.“

Dichtungsexperte Ludwig ist überzeugt: Unterschiedliche Bediener, die Experten und die Werker von Meteor könnten gut mit den Geräten umgehen, die Software sei intuitiv. Dazu seien Service und Reaktionszeiten von Pixargus bei Störungen „wirklich gut“, die Störraten dabei „sehr niedrig“. Und vor allem: Die Qualitätskontrolle sei genau auf den Punkt. „Die Geräte detektieren das, was sie sollen“, urteilt Ludwig. „Alles Gründe, warum wir seit 25 Jahren Systeme von Pixargus einsetzen“. ■

AUTORIN

Heike Freimann

Journalistin, Redaktion Aix

KONTAKT

Pixargus GmbH, Würselen

Tel.: +49 2405 479 08 26

Fax: +49 2405 479 08 11

sales@pixargus.de

www.pixargus.de



Das Schichtdickenmessgerät Paintchecker Cube basiert auf LED statt Laser, weshalb Anwender auf Schutzeinrichtungen verzichten können.

Inspektion von 150 Parksensoren pro Minute

Schichtdickenmessung bei lackierten PDC-Sensoren für Autos

Um den Lack auf Parksensoren, sogenannte PDC-Sensoren, für die Automobilindustrie zu prüfen, kommt eine automatische Schichtdickenprüfung zum Einsatz. Damit kann die ILB Industrielackierung Biedermann ressourceneffizient in hoher Qualität produzieren.

Die ILB Industrielackierung Biedermann beschichtet heute viele Millionen Teile im Jahr, die weltweit zum Einsatz kommen – sowohl via Nasslack als auch mit Pulver. „Uns war klar, dass nur eine vollständige Automatisierung der Beschichtung die Qualität optimieren kann“, erklärt Firmengründer Bernd Biedermann, „und dazu benötigten wir auch eine erstklassige Qualitätssicherung“. Denn kaum eine Branche stellt so hohe Anforderungen an Oberflächen wie die Automobilhersteller. Hinzu kommt, dass Anbauteile an Autos über lange Zeit extremen Beanspruchungen durch Hitze, Kälte, Nässe, Steinschlag, Salz und UV-Strahlung ausgesetzt sind. Gleichzeitig verbergen die Blech- und Kunststoffteile unter der makellosen Außenhaut komplexe Bauelemente.

Um sich teure, aufwändige Prozesse wie Überbeschichten, das Entlacken fehlbeschichteter Teile oder eine Entsorgung zu sparen, wird die Schichtdicke direkt nach

der Pulverlackapplikation gemessen, noch vor dem Einbrennen. Die Vorteile liegen auf der Hand: Das Unternehmen kann so die Beschichtungsparameter optimieren, Fehler vermeiden und die Qualität steigern. „Da die Beschichtungsdicke eine funktionskritische Kenngröße ist, müssen alle Arten von Beschichtungsfehlern wie ungleichmäßiger Pulverauftrag, Kratzer, Risse oder eingeschlossene Fremdpartikel zuverlässig erkannt werden“, erklärt Biedermann.

Ein berührungsloses Schichtdickenprüfsystem für enge Platzverhältnisse

So sondierte die ILB den Herstellermarkt der Schichtdickenmesssysteme. Damals – im Jahr 2005 – gab es fast ausschließlich Systeme, die auf der Lackschicht aufsetzen. „Wir hätten also erst nach dem Einbrennen messen können, denn erst dann ist der Pulverlack ausgehärtet. Doch die Förderbandstrecke, die unsere eingebrannten Teile zurücklegen, sind lang. Bis eine kontaktbehafte Messung

nach dem Aushärten Ergebnisse liefert, gibt es viel Ausschuss. Wir wollten deshalb unbedingt eine berührungslose Schichtdickenmessung“, erinnert sich Biedermann.

Anwender im Detail

ILB Industrielackierung Biedermann

Als der gelernte Ingenieur für Maschinenbau und Lackiererei Bernd Biedermann das Unternehmen 1991 mitgründet, beschichtet es zunächst noch im Handbetrieb. In den Folgejahren investiert Biedermann stetig und setzt früh auf Automatisierung. Im Jahr 2003 entwickelt das Unternehmen ein automatisiertes Pulverbeschichtungsverfahren, das auch die Automobilbranche begeistert aufnimmt. Mit dem Einstieg in die Lohnbeschichtung für den Automotive-Sektor baut die ILB ihre Produktion weiter aus. Mittlerweile arbeiten rund 100 Mitarbeiter bei dem Thüringer Unternehmen, 25 davon in der Beschichtung.

Allerdings bedeuteten die kurzen Taktzeiten und die sehr beengten Platzverhältnisse bei diesem Projekt ganz besondere Herausforderungen. Bei fast allen Anbietern am Markt waren Sensoren für diese anspruchsvolle Messaufgabe nicht verfügbar. Nach intensiven Recherchen wurde das Unternehmen auf die photothermischen Paintchecker Modelle von Optisense aufmerksam und kam mit dem Hersteller aus Haltern am See ins Gespräch.

Prüfobjekte: 10 mm hohe Kleinteile

„Das war auch für uns eine spannende neue Aufgabenstellung“, schildert Georg Nelke, Geschäftsführer von Optisense. „Wir haben zugesagt, umgehend ein passendes System zu implementieren.“ Doch schon die Konfiguration erwies sich als komplexe Aufgabe. „Es sollten Kleinteile mit Krümmungen geprüft werden, die einen Durchmesser von gerade einmal 20 mm hatten und die lediglich 10 mm hoch waren. Und das innerhalb einer halben Sekunde“, schildert Nelke die Herausforderungen.

„Zudem stand für unser Messsystem in der Linie kaum Platz zur Verfügung – das machte es zunächst schwierig, eine robuste und zuverlässige Messstation aufzubauen, die noch dazu im Mehrschichtsystem bestehen sollte.“ Nach der Einweisung durch Optisense und mit den Dokumentationen war die Systemumstellung ein angenehmes Hand-in-Hand arbeiten.

Drei Monate bis zur Inbetriebnahme

Biedermann stand damals unter Zeitdruck, weil der Kunde dringend auf die Teile angewiesen war. Von der ersten Kontaktaufnahme bis zur Inbetriebnahme des Schichtdickenmesssystems blieben gerade einmal drei Monate. Deshalb wurden in einem Vor-

Ort-Termin unverzüglich die Projektdetails und Datenübergaben abgestimmt.

Um die Zuverlässigkeit des berührungslosen Messsystems zu prüfen, wurde zunächst eine Pilotierung gefahren. „Das System hat uns sofort überzeugt: eine zuverlässige und schnelle Schichtdickenmessung als sicher zu steuernde, automatisierte Lösung“, zeigt sich der ILB-Seniorchef zufrieden. Denn für die Pulverbeschichtung samt Prüfmessung bei Abdeckkappen, wie sie bei Einparkhilfesensoren zum Einsatz kommen, gelten besondere Anforderungen.

Schwierig zu lackieren: Parksensoren

Eine elektronische Einparkhilfe ist heutzutage in nahezu allen Fahrzeugen serienmäßig verbaut. Die PDC-Sensoren (PDC: Park Distance Control) bestehen aus einem Ultraschallwandler und einer Sende- und Auswerteelektronik, die von einer Schutzkappe in Wagenfarbe abgedeckt werden. Dabei kann die Funktion der empfindlichen Parksensoren schon durch kleinste Lackabweichungen eingeschränkt werden.

Der Ultraschallsensor kann nur einwandfrei funktionieren, wenn die Membran aus piezoelektrischer Keramik akustisch vom Sensorgehäuse entkoppelt ist. Wird die zulässige Lackschichtdicke überschritten, ändert sich das Schwingungsverhalten und es werden falsche Signalwerte an die Fahrzeugelektronik weitergeleitet. Dann bekommt der Fahrer entweder zu weite oder zu nahe Abstände gemeldet. Ist der Ultraschallsensor Teil einer Einparkhilfe, kann das fatale Folgen haben. Wie viele PDCs verbaut sind, spielt dabei keine Rolle. Denn ist nur einer beschädigt, funktioniert das ganze System nicht mehr.

Auch kleine Abweichungen haben also weitreichende Folgen. Alle Automobilhersteller geben daher technische Empfehlungen



Schon kleinste Lackabweichungen können die Funktion der empfindlichen Einparkhilfe-Sensoren einschränken.«

zur Lackierung der Parksensoren heraus, in denen Lackierbereich, Pulverlackdicke, maximaler Aushärtungstemperatur und vieles mehr festgehalten sind. „Und die gilt es, penibel einzuhalten. Deshalb haben wir einen so hohen Qualitätsanspruch“, erklärt der Seniorchef.

Der Beschichtungsprozess ist vollständig automatisiert

Grob lässt sich der Pulverbeschichtungsprozess für die Abdeckkappen der PDC-Sensoren in Vorbehandlung, Lackapplikation und Vernetzung gliedern. Alle Prozessschritte sind in der industriellen Produktion durch automatische Fördereinrichtungen und Roboter vernetzt.

Die Teile werden nass-chemisch in einem No-Rinse-Verfahren vorbehandelt. Das ist ein Plus für die Umwelt. Nach der Vorbehandlung werden die Flächen, die keine Beschichtung bekommen dürfen, automatisch partiell maskiert. Dann erfolgt die eigentliche Beschichtung. Beim Beschichtungsprozess ist es entscheidend, die richtige Schichtdicke zu erreichen. Sobald die Abdeckkappen die Kabine verlassen, wird deshalb bei jeder einzelnen Kappe sofort die Schichtdicke geprüft. „Die Abdeckkappen sieht zu diesem Zeitpunkt immer noch aus wie eingepudert“, beschreibt Biedermann die weiche, empfindliche Pulverschicht.

Die Technologie von Optisense im industriellen Umfeld ermöglicht eine lückenlose Qualitätskontrolle und liefert auch Informationen für die weitere Prozessoptimierung.

150 Sensoren pro Minute werden geprüft

Das Schichtdickenmesssystem besteht aus einem Controller als Steuerungseinheit, an den die Sensoren über Kabel angeschlossen sind. Der Paintchecker Controller ist direkt an die Pulverbeschichtungskabine angedockt. Jedes der zig Millionen frisch beschichteten Teile fährt vor der Aushärtung auf einem



Die ILB startete unlängst den Testlauf mit dem Paintchecker Cube, zunächst parallel zur bisherigen Sensorik.



Die Pulverbeschichtungsanlage lackiert 150 PDC-Sensoren (PDC: Park Distance Control) pro Minute für die Automobilindustrie.

Transportband durch die Inline-Messstation, in der die Beschichtungsdicke berührungslos via Lasersensor geprüft wird. Rund 150 Exemplare in der Minute werden gecheckt. Tag für Tag.

Zur Software-seitigen Integration in die Fertigungsanlage besitzt der Paintchecker Schnittstellen zu einer übergeordneten SPS. Die komplette Messtechnik ist so direkt an die ILB-Datenbank angebunden. Die vollständigen Prozessdaten werden in Echtzeit an die Analyse-Software übergeben, die dann die Visualisierung übernimmt. Sämtliche Auftragsdaten sind digital hinterlegt und alle Maschinenparameter werden auf einer großen Monitorwand grafisch dargestellt.

„Wer glaubt, der hohe Automatisierungsgrad einer modernen Pulverbeschichtungsanlage degradiere die Kollegen in der Fertigung zu reinen Statisten, der irrt gründlich“, erläutert Bernd Biedermann und vergleicht die Situation mit der des Piloten in einem modernen Cockpit: „Jede Abweichung erfordert eine schnelle Reaktion. Es klingt wie ein Widerspruch“, so Geschäftsführer Biedermann, „aber je einfacher die Bedienung der Anlage aussieht, desto komplexer sind die dahinterstehenden Prozesse, und die müssen unsere Anlagenführer genau kennen, um im Bedarfsfall das Richtige zu tun“.

Qualitätsdaten werden zentral erfasst und ausgewertet

Eine der vielen Kennlinien auf dem großen Display zeigt die Schichtdicke an. Ein digitales Toleranzband signalisiert dabei, ob die Schichtdicke im grünen Bereich liegt. Die Kennlinie läuft in der Regel in der Mitte des Toleranzbereichs. „Aber diese Schichtdickenkennlinie bewegt sich auch mal zu den Rändern des Toleranzbandes hin. Nicht sprunghaft, aber unsere Anlagenführer erkennen

eine Tendenz zur Abweichung sofort“, erklärt Biedermann.

Nicht korrekt beschichtete Bauteile werden dann schnell selektiert, gereinigt und wieder die Linie zurückgeführt. Dieser Prozess erleichtert einerseits die Fehlersuche, andererseits wird die Beschichtung vollständig dokumentiert. Diese Daten dienen auch als Qualitätsnachweis gegenüber den Kunden. Diese zentral abgelegten Daten lassen sich weiterverwenden und beispielsweise für das Ressourcenmanagement nutzen.

Und wie geht es im Beschichtungsprozess weiter? Nach der Pulverbeschichtung und dem Messen nimmt ein Roboter die Abdeckkappen vom Beschichtungsband und setzt sie auf einen Warenträger, der die Kappen durch einen Einbrennofen fährt. Hier schmilzt der Pulverlack und verläuft zu einer gleichmäßigen Schicht. Ein Roboter platziert die beschichteten Bauteile auf einem Tray und damit stehen die Abdeckkappen zum Versand bereit.

Nebenbei erwähnt Biedermann schmunzelnd: „Die Optisense-Technologie macht mir neben den Kostenersparnissen und gerade wegen der absoluten Prozesskontrolle für eine sehr gleichmäßige Beschichtungsqualität von Anfang an Freude.“

Die Messsysteme funktionieren auch nach 15 Jahren zuverlässig

Doch der erfolgreiche Ersteinsatz der Paintchecker-Systeme war erst der Anfang einer langjährigen Kooperation zwischen ILB und Optisense: Inzwischen sind die Messsysteme in allen drei Produktionslinien im Einsatz. „Nach 15 Jahren Dauereinsatz haben wir lediglich einmal eine Leiterplatte ausgetauscht“, freut sich Biedermann über die wartungsarmen und robusten Messsysteme.

Dennoch: Längst gibt es die Geräte der 4. Generation – mit immer weiter optimierten Komponenten für noch flexiblere und genauere Messungen. Biedermann ist neugierig, mehr vom brandneuen Paintchecker Cube zu erfahren, der auf LED-Technik basiert. „Damit gehören Laserschutzbeauftragte und Schutzeinrichtungen der Vergangenheit an. Das wiederum spart Zeit und Kosten“, ordnet Biedermann die Vorteile der neuen Technik ein.

Für raue und pulverartige Oberflächen: der Paintchecker Cube mit LED-Sensoren

Die LED-Sensoren besitzen ein größeres Messfeld als die bisherigen Lasermodelle und eignen sich besonders für raue und pulverartige Oberflächen. Je nach Beschichtungsmaterial kann zwischen Infrarot- oder UV-Anregung gewählt werden.

Die LED-Sensoren benötigen weniger als eine halbe Sekunde pro Messung und überwachen den Prozess lückenlos und zuverlässig. Durch die Halbleiterlichtquelle stehen die LED-Sensoren für eine hohe Lebensdauer, Energieeffizienz und Vibrationsfestigkeit. „Zudem ist der Paintchecker industrial Cube mit seinem 150 Gramm Gewicht optimal für die Roboterontage geeignet“, stellt Georg Nelke den Optisense-Sensor vor. Und mit der miniaturisierten Würfel-Bauform lässt sich der Sensor auch in beengte Produktionsumgebungen leicht integrieren.

Umstellung von Laser auf LED-Sensoren hat begonnen

Die ILB startete unlängst den Testlauf mit dem Paintchecker Cube, zunächst parallel zur bisherigen Sensorik. Und auch die Visualisierungs-Software ist bereits auf den neuen Sensor umgestellt. „Klar, es gibt mittlerweile auch andere Anbieter, aber wir haben sehr gute Erfahrungen mit Optisense gemacht und möchten auch in der nächsten Schichtdickenmessgeneration wieder zusammenarbeiten“, resümiert Bernd Biedermann. ■

KONTAKT

Optisense Gesellschaft für Optische Prozessmesstechnik mbH & Co. KG,
Haltern am See
Tel.: +49 2364 508 82 0
info@optisense.com
www.optisense.com



3D-Oberflächenmesssystem für die Defekterkennung

Mit Topmap hat Polytec eine Serie der optischen 3D-Oberflächenmesstechnik etabliert, die sich für eine rasche und verlässliche Qualitätskontrolle hinsichtlich Oberflächengüte und geometrischer Parameter eignet. Es misst und dokumentiert jedes Werkstück. Das System ermittelt auch Höhendaten, die unter anderem für die Defekterkennung essenziell sind. Basierend auf Weißlicht als Informationsträger werden 3D-Topografien flächenhaft erfasst. Das Messsystem scannt berührungslos und flächenhaft die Werkstückoberfläche ab, bestimmt Formparameter, charakterisiert Rauheit und Strukturdetails oder detektiert Abweichungen zu Toleranzen. Durch die hohe Messgeschwindigkeit und umfangreiche Erfassung der Bauteile eignet sich diese Messmethode für Fertigungsprozesse mit hohem Durchsatz und kurzen Taktzeiten.

www.polytec.de



Akustische Bildgebungssysteme um zwei Kameramodelle erweitert

Teledyne Flir hat zwei neue Modelle der industriellen akustischen Kamera Flir SI124 vorgestellt: Ab sofort sind die für die Erkennung von Druckluftlecks geeignete SI124-LD und die SI124-PD für das Erkennen von Teilentladungen in elektrischen Hochspannungsanlagen verfügbar. Beide Modelle verfügen über Onboard-Analysefunktionen mit Zugang zu einem Online-Portal über den Acoustic Camera Viewer Cloud-Service. Mit dieser Software können Benutzer schnelle Diagnosen und tiefgehende Analysen durchführen. Mit diesen Daten können SI124-PD-Benutzer den Grad der Teilentladungsprobleme in Hochspannungsanlagen bestimmen und so die Zuverlässigkeit des Stromnetzes erhöhen. Das Modell SI124-LD hilft Anwendern, das Ausmaß von Druckluftlecks zu bestimmen und so Energiekosten einzusparen.

www.flir.de



CT-Software: 3D-Rendering beschleunigt

Die CT-Software-Familie VG Studio Max, VG Studio, VG Metrologie und VG Inline erhält mit Version 3.5.2 neue Funktionen: schnelleres 3D-Rendering, eine neue Benutzeroberfläche für die Verarbeitung von Geometrieelementen, die Möglichkeit, ein CAD-Modell mit weniger Kontrollpunkten zu erstellen, und eine Funktion, um beliebige Berichtsinhalte in Abschnitten zu platzieren.

Die Geschwindigkeit beim Rendern einer Szene mit vielen ROIs und/oder Volumen wurde erhöht, was zu einem besseren Benutzererlebnis bei Szenen mit zahlreichen Einträgen führt, wie es bei Analysen auf mehreren Bauteilen und komplexen Segmentierungen vorkommt. Abhängig von der Kombination der Einträge in der Szene wird das Benutzererlebnis durch eine bis zu zehnfach höhere Bildrate deutlich verbessert.

www.volumegraphics.com



3D-High-Definition-Stereo-Bildgebungssystem mit hohem Zoom

Vision Engineering hat eine neue Produktkombination zusammen mit Nikons Stereomikroskopen angekündigt, die das Angebot an Inspektionsmikroskopie-Systemen um eine digitale 3D-Inspektionslösung mit höherer Vergrößerung erweitern soll. Der 3D HD Deep Reality Viewer (DRV) von Vision Engineering schafft zusammen mit den Stereomikroskopen SMZ25 und SMZ18 von Nikon ein digitales 3D-High-Definition-Stereo-Bildgebungssystem mit hohem Zoom und hoher Vergrößerung und dem größten optischen Zoomverhältnis von 25:1, die heute in der Stereomikroskopie verfügbar sind. Benutzer können ihr Motiv jetzt über den Deep Reality Viewer (DRV) von Vision Engineering digital in Stereo betrachten und das digitale Stereobild dann erfassen und überall in Echtzeit an Kollegen, Lieferkettenpartner oder Kunden weitergeben.

www.visioneng.de



Software für Digitalmikroskope mit analytischen Funktionen

Die neue Software von Olympus für das DSX1000 erweitert das Digitalmikroskop um Messfunktionen und erhöht die Bedienfreundlichkeit. Die automatische Kantenerkennung ist für Messungen in der Ebene und im Profil verfügbar, sodass Merkmale und Fehler bei QA/QC-Prüfungen einfacher zu messen sind. Weitere neue Funktionen sind: Differenzmessung zwischen zwei Datenpunkten, Analysevorlagen für automatisierte Analyseaufgaben, zusammengesetzte Bilder mit größerem Sichtfeld und höherer Auflösung sowie Zeitrafferaufnahmen. Mit der Software kann nach der Analyse die Datenübertragung an Softwares von Drittanbietern, zum Beispiel CAD-Programme, sowie die Anzeige der Messergebnisse mit Bild- und Oberflächenprofilen in anwendungsspezifische Berichte erfolgen.

www.olympus-ims.com



Röntgentomografie mit höherer Leistung

Mit dem Tomoscope XS FOV 500 von Werth steht Hochleistungs-Computertomografie jetzt zum Preis von konventionellen 3D-Koordinatenmessgeräten zur Verfügung. Die wartungsfreie Röntgenröhre im Monoblock-Design verfügt über eine Spannung von 160 kV und liefert mit einer Leistung von 500 W schnelle Messergebnisse. Das Gerät wird mit zwei Jahren Gewährleistung auf die Röntgenröhre ohne Schichtbegrenzung geliefert und ermöglicht durch On the Fly-Betrieb und Echtzeitrekonstruktion auch fertigungsbegleitende oder Inline-Messungen. Es ist durch Roboterbeladung und Schnittstellen zu den meisten Softwarelösungen vollständig automatisiert und integrierbar und eignet sich in der Basisausstattung ohne bewegte Messachsen für Werkstücke bis zu einer Größe von ca. 200 mm.

www.werth.de

Index

FIRMA	SEITE	FIRMA	SEITE	FIRMA	SEITE
A ccede	15	H D Vision Systems	43	Pixargus	44
AIM Systems	12	I DS Imaging Development Systems	22	Polytec	15, 49
Allied Vision Technologies	25, 33	IFM Electronic	6	S canlab	7
Ametek	43	IIM	13	Smart Vision Lights	30
Aries Embedded	33	Imago Technologies	6, 33	T eledyne Dalsa	25
AT Automation Technology	43	K owa Optimed	25	Teledyne Flir	33, 34, 49
Autovimation	15, 17	L MI Technologies	26	Tichawa Vision	18
B asler	6	M acnica ATD Europe	33	Trioptics	7
Büchner Lichtsysteme	19	Matrix Vision	25	V ieworks	3
C ognex	43	Matrox Imaging	36	Vision & Control	25
D eutsche Messe	6	MBJ Imaging	7	Vision Engineering	49
Duwe-3D	42	Mesago Messe Frankfurt	6	Volume Graphics	49
E dmund Optics	25	Messe München	4. Umschlagseite	W englor Sensoric	43
Emtron Electronic	43	Micro-Epsilon	5	Werth Messtechnik	49
EMVA	7, 2. Umschlagseite	MVTEC Software	6, 28	X ilinx	33
Evotron	15	O lympus	49	Ximea	Titelseite, 8
F alcon Illumination	15, 16	Optisense	46	Z ebra Technologies	38
Framos	20	P hil-Vision	40	Z-Laser	6

Impressum

Herausgeber

Wiley-VCH GmbH
 Boschstraße 12
 69469 Weinheim, Germany
 Tel.: +49/6201/606-0

Geschäftsführer

Sabine Haag
 Dr. Guido F. Herrmann

Publishing Director

Steffen Ebert

Product Management

Anke Grytzka-Weinhold
 Tel.: +49/6201/606-456
 agrytzka@wiley.com

Chefredaktion

David Löh
 Tel.: +49/6201/606-771
 david.loeh@wiley.com

Redaktion

Andreas Grösslein
 Tel.: +49/6201/606-718
 andreas.groesslein@wiley.com

Redaktionsassistent

Bettina Schmidt
 Tel.: +49/6201/606-750
 bettina.schmidt@wiley.com

Beirat

Roland Beyer, Daimler AG
 Prof. Dr. Christoph Heckenkamp,
 Hochschule Darmstadt

Dipl.-Ing. Gerhard Kleinpeter,
 BMW Group

Dr. rer. nat. Abdelmalek Nasraoui,
 Gerhard Schubert GmbH

Dr. Dipl.-Ing. phys. Ralph Neubecker,
 Hochschule Darmstadt

Anzeigenleitung

Jörg Wüllner
 Tel.: 06201/606-748
 jwuellner@wiley.com

Anzeigenvertretungen

Martin Fettig
 Tel.: +49/721/14508044
 m.fettig@das-medienquartier.de

Dr. Michael Leising
 Tel.: +49/3603/893565
 leising@leising-marketing.de

Herstellung

Jörg Stenger
 Kerstin Kunkel (Sales Administrator)
 Maria Ender (Design)
 Ramona Scheirich (Litho)

Wiley GIT Leserservice

65341 Eltville
 Tel.: +49/6123/9238-246
 Fax: +49/6123/9238-244
 WileyGIT@vusevice.de
 Unser Service ist für Sie da von Montag
 bis Freitag zwischen 8:00 und 17:00 Uhr.

Sonderdrucke

Patricia Reinhard
 Tel.: +49/6201/606-555
 preinhard@wiley.com

Bankkonto

J.P. Morgan AG Frankfurt
 IBAN: DE5501108006161517443
 BIC: CHAS DE FX

Zurzeit gilt die Anzeigenpreiskliste
 vom 1. Januar 2022

2022 erscheinen 9 Ausgaben
 „inspect“
 Druckauflage: 20.000 (4. Quartal 2021)

Abonnement 2021

9 Ausgaben EUR 51,00 zzgl. 7 % MWSt
 Einzelheft EUR 16,30 zzgl. MWSt+Porto

Schüler und Studenten erhalten unter Vorlage
 einer gültigen Bescheinigung 50 % Rabatt.

Abonnement-Bestellungen gelten bis
 auf Widerruf; Kündigungen 6 Wochen vor
 Jahresende. Abonnement-Bestellungen
 können innerhalb einer Woche schriftlich wider-
 rufen werden, Versandreklamationen sind
 nur innerhalb von 4 Wochen nach Erscheinen
 möglich.



Originalarbeiten

Die namentlich gekennzeichneten Beiträge
 stehen in der Verantwortung des Autors.
 Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit
 Genehmigung der Redaktion und mit
 Quellenangabe gestattet. Für unaufgefordert
 eingesandte Manuskripte und Abbildungen
 übernimmt der Verlag keine Haftung.

Dem Verlag ist das ausschließliche, räumlich,
 zeitlich und inhaltlich eingeschränkte
 Recht eingeräumt, das Werk/den redaktio-
 nellen Beitrag in unveränderter Form oder
 bearbeiteter Form für alle Zwecke beliebig
 oft selbst zu nutzen oder Unternehmen, zu
 denen gesellschaftsrechtliche Beteiligungen
 bestehen, so wie Dritten zur Nutzung zu
 übertragen. Dieses Nutzungsrecht bezieht sich
 sowohl auf Print- wie elektronische Medien
 unter Einschluss des Internets wie auch auf
 Datenbanken/Datenträgern aller Art.

Alle etwaig in dieser Ausgabe genannten und/
 oder gezeigten Namen, Bezeichnungen oder
 Zeichen können Marken oder eingetragene
 Marken ihrer jeweiligen Eigentümer sein.

Druck

westermann DRUCK | pva

Printed in Germany
 ISSN 1616-5284

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Substantiven die männliche Form verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

WILEY

YOU **WHAT** YOU
GET **SEE**

www.WileyIndustryNews.com

Wiley Industry News

WIN  **NEWS**



MESSE
MÜNCHEN



**LICHT AUF DEM
NÄCHSTEN LEVEL**

JETZT TICKET SICHERN UNTER
WORLD-OF-PHOTONICS.COM/TICKET

26.–29. APRIL 2022 | MESSE MÜNCHEN

25. Weltleitmesse für Komponenten, Systeme und
Anwendungen der Photonik

world-of-photonics.com

LASER World of **PHOTONICS**