

Industrielle Bildverarbeitung für automatisierte Produktionen

Aktuelle Entwicklungen im Überblick

Die industrielle Bildverarbeitung (IBV) hat sich in vielen Branchen zu einem festen Standbein entwickelt. Sie unterstützt den Menschen bei der Triade aus „Sehen – Erkennen – Verstehen“, die in vielen Bereichen die Grundlage für zielgerichtetes Handeln und erfolgreiches Wirtschaften bildet. Bei hoch entwickelten Fertigungstechnologien wie auch bei hohen Personalkosten sind Produktionsanlagen nur mit einem hohen Grad an Automatisierung wirtschaftlich zu betreiben. Daher sind im industriellen Bereich effiziente Automatisierungslösungen unabdingbar.

Alle eingesetzten Komponenten müssen dabei mit dem erhöhten Tempo der Produktion mithalten, was insbesondere auch den Bereich Bildverarbeitung für Teilehandling oder Qualitätssicherung umfasst. Der industriellen Bildverarbeitung kommt in diesem Kontext ein besonderer Stellenwert zu, weil sie die genannten Aufgaben schnell, präzise und zuverlässig erledigen kann. Dabei ist der Einsatz der Bildverarbeitung im Vergleich zu anderen Lösungen meist kostengünstig, was nicht zuletzt ihrer inzwischen weiten Verbreitung und den damit verbundenen hohen Stückzahlen zuzuschreiben ist.

Dass die Bildverarbeitungsbranche einen großen Anteil an den Automatisierungslösungen und der Gewährleistung von Qualität hat, spiegelt sich nicht zuletzt in den Wachstumszahlen dieser Branche wieder. Zweistelliges Wachstum in der Vergangenheit und ebenso vielversprechende Zahlen für die Zukunft stimmen die Branche optimistisch. Die Technik ist gefragt, dem stehen aber auch harte Anforderungen aus dem Fertigungsumfeld gegenüber. Deutschland mit einer großen Anzahl an innovativen kleinen und mittelständischen Betrieben hat hier die Nase im globalen Wettbewerb noch vorne.

Neue Märkte für die Bildverarbeitungsbranche ergeben sich neben den bekannten Wachstumsmärkten in Asien auch bei den angrenzenden osteuropäischen Ländern,

wie z. B. in Rumänien, wo zwar aufgrund des niedrigen Lohnniveaus der Automatisierungsgrad relativ gering ist. Dennoch müssen auch dort die erzeugten Produkte entsprechende Qualitätsstandards erfüllen. Dazu sind Techniken notwendig, die objektiv die Produktqualität erfassen und nachweisbar dokumentieren. Dies bedeutet, dass vor allem für exportorientierte osteuropäische Unternehmen ein erhöhter Bedarf an angepasster Automatisierungs- und Prüftechnik besteht. Das ist eine Chance für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau und nicht zuletzt auch für die IBV-Branche, neue Märkte bei den angrenzenden Beitrittsländern erfolgreich zu erschließen.

Herausforderungen moderner Produktionsstrukturen

Die Produktionsstrukturen erfolgreicher Unternehmen haben sich in den letzten Jahren maßgeblich geändert. Gründe hierfür findet man sicher in den sich turbulent verändernden Rahmenbedingungen (z. B. steigender Konkurrenzdruck, Kosteneffizienz speziell bei Lohnkosten) und bei den sich rasant entwickelnden Märkten im globalen Umfeld. Technologisch resultieren hieraus Randbedingungen für das produzierende Gewerbe, die sich wie folgt zusammenfassen lassen

- Kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen
- Null-Fehler-Produktion
- Komplexität neuer Technologien

Um sich diesen Herausforderungen stellen zu können, müssen automatisierte Produktionen und ihre technologischen Schlüsselkomponenten bestimmte Funktionalitäten erfüllen. Speziell für Bildverarbeitungssysteme müssen hierbei folgende Anforderungen erfüllt werden.

- Konfigurierbarkeit
Um den aus kürzeren Innovations- und Produktlebenszyklen resultierenden Anforderungen zu entsprechen, müssen Industrielle Bildverarbeitungssysteme (IBV-Systeme) konfigurierbar sein, was sich mit adaptiv,

DER AUTOR

KAI-UDO MODRICH

Dr.-Ing. Kai-Udo Modrich leitet die Abteilung Technische Informationsverarbeitung am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart. Die Forschungsschwerpunkte der 25 Mitarbeiter großen Abteilung liegen im Bereich der Mess- und Prüftechnik, Industriellen Bildverarbeitung, Rapid Manufacturing sowie der qualitätsbasierten Prozessprognose und -regelung.



Dr.-Ing. Kai-Udo Modrich
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA
Abteilungsleiter
Technische Informationsverarbeitung
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711/9701272
Fax: +49 (0) 711/9701004
E-Mail: modrich@ipa.fraunhofer.de
Website: www.ipa.fraunhofer.de

agil und antizipativ als zentrale Funktionen zusammenfassen lässt. Dies bedeutet, dass sich die Systeme auf ändernde Produktausprägungen und -varianten anpassen können, mit der entsprechenden Prüfungsgeschwindigkeit die Anforderungen des Fertigungstaktes erfüllen und als sensorischer Informationsgeber für Qualitätsprognose-systeme die Prozessstabilität gewährleisten.

- Integrationsfähigkeit und Detektionsvermögen

Für die Null-Fehler-Produktion müssen IBV-Systeme die notwendigen technologischen Voraussetzungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Reproduzierbarkeit und standardisierten Schnittstellen erfüllen, damit sie in bestehende Produktionssysteme erfolgreich integriert werden können. Des Weiteren müssen sie das entsprechende Detektionsvermögen besitzen um auch die geforderten Quali-

tätskriterien in kleinsten Strukturen und Geometrien erfassen zu können.

- Intuitive Mensch-Maschine-Kommunikation

Aufgrund der steigenden Komplexität von Produktionsmitteln ist eine einfache Mensch-Maschine-Kommunikation vor allem für IBV-Systeme unabdingbar. Nicht zuletzt durch die steigende Variantenvielfalt muss das Umstellen auf Produktvarianten an den IBV-Systemen einfach und von den Workern vor Ort machbar sein.

Ausgehend von den Herausforderungen moderner Produktionsstrukturen und deren Auswirkungen auf Industrielle Bildverarbeitungssysteme konzentrieren wir unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf industriell relevante Aufgabenbereiche, die sich in folgenden Schwerpunkten zusammenfassen lassen:

- Unsichtbares sichtbar machen
- Messen und Prüfen im Fertigungstakt
- 3-D Bildverarbeitung

Anhand von realisierten Anwendungsbeispielen werden diese Trends und deren Bedeutung für die jeweilige Industriebranche im Folgenden dargestellt.

Unsichtbares sichtbar machen

Messen mit röntgenbasierter Computertomographie

Industrielle Computertomographie (CT) wurde in den letzten Jahren mit hohem Forschungsaufwand technologisch weiter entwickelt. Daraus resultieren heute vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Neben den klassischen Anwendungen der zerstörungsfreien Prüfung etablieren sich mehr und mehr messtechnische Aufgabenstellungen. Als Beispiel sei hier das dimensionelle Messen von Objekten und Merkmalen genannt.

Bis heute werden komplexe 3-D Messungen überwiegend auf klassischen Koordinatenmessgeräten (KMG) realisiert. Dabei sind für Messungen oft spezielle Taster oder gar zerstörende Schnitte in das Messobjekt notwendig, um verdeckte Geometrien zu erfassen. Die CT-Technologie ermöglicht die Vermessung entsprechender Geometrien ohne Zerstörung oder spezielle Tastersysteme.

Zurzeit ist der Aufwand für Messungen mit CT noch relativ hoch. Zur Sicherstellung vergleichbarer Messergebnisse sowie vertretbarer Messzeiten muss ein entsprechender Aufwand in die Vorbereitung des Messobjektes, die Justage des Messsystems und in Vergleichsmessungen gesteckt werden. Zudem ist die Technologie heute noch

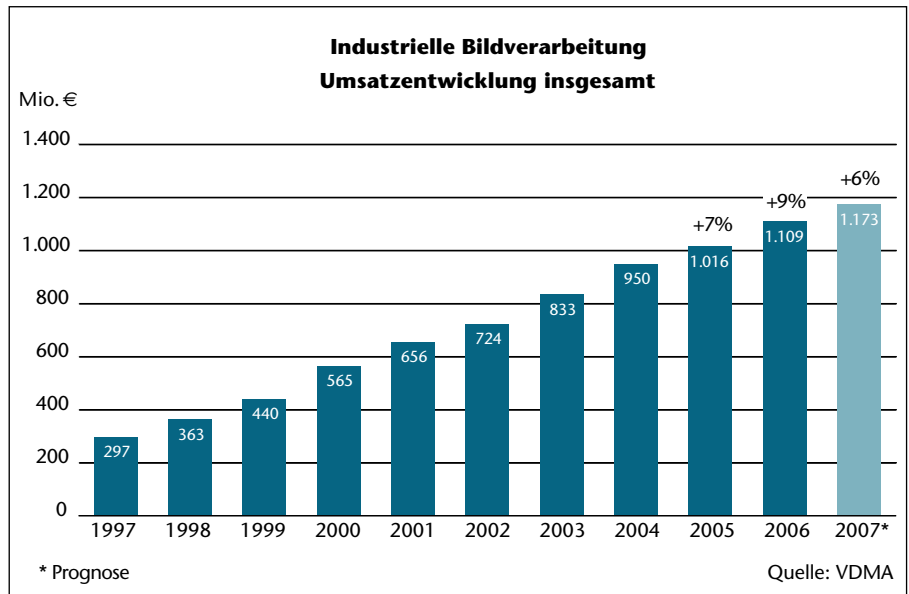


ABB. 1: Entwicklung des Branchenumsatzes.

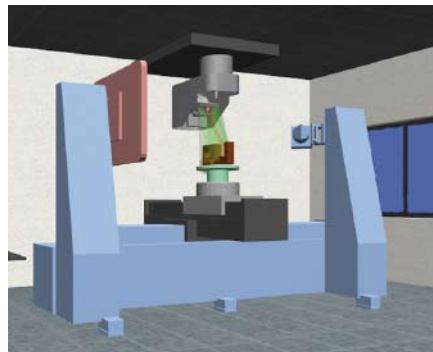


ABB. 2: Prinzipbild der Fraunhofer Multi-sensor-CT-Anlage Tomolibri.

weitgehend offen, das heißt, nur wenig ist durch technische Regeln festgeschrieben. Dennoch zeichnet sich ab, dass die CT-

Technologie den Markt der dimensionellen Messtechnik in den nächsten fünf bis zehn Jahren nachhaltig verändern wird.

Die CT-Technik wird in der Industrie vermehrt Einzug halten und sich dabei neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen. Aktuell laufende Standardisierungsaktivitäten (z. B. in der VDI/VDE-GMA) führen zu mehr Übersichtlichkeit in der Technologie und zur Vergleichbarkeit von Messergebnissen. Bereits heute wird die CT-Technik in der Multisensor-Koordinatenmesstechnik eingesetzt. Hier arbeitet sie gemeinsam mit klassischen taktilen und/oder optischen Sensoren in einem Messsystem und nutzt dabei ein gemeinsames Bezugssystem.

Zur Realisierung einer messmitteltauglichen CT-Anlage haben sich die drei Fraun-

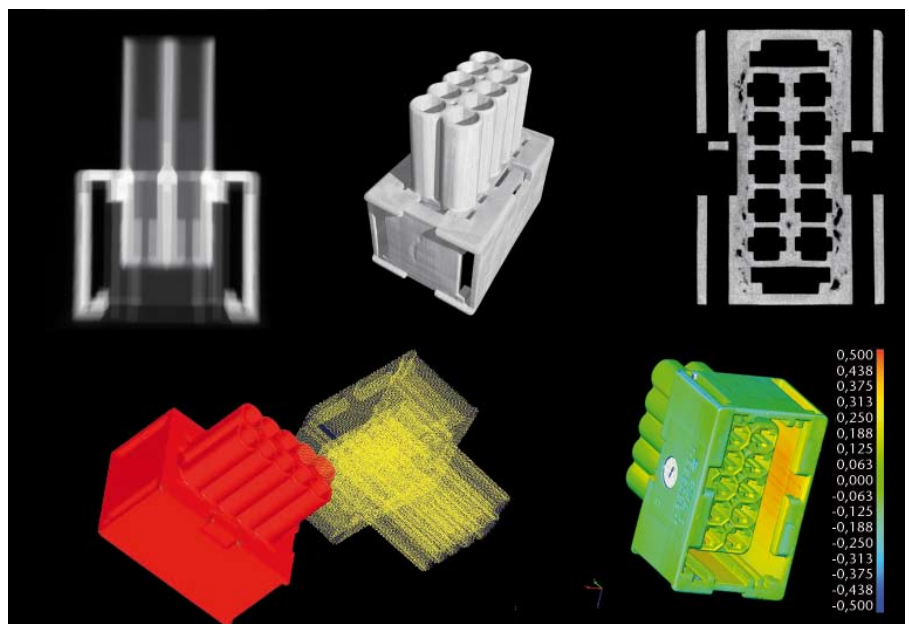


ABB. 3: Vom Röntgenbild über das Voxelmodell zum Soll-Ist-Vergleich.



ABB. 4: Arbeitsprozesse der Pilotanlage zur Oberflächenkontaminationskontrolle.

hofer Institute IIS, IZFP und IPA unter der Leitung des Fraunhofer IPA zusammengeschlossen. Gemeinsam entwickeln sie derzeit den Anlagenprototyp „Tomolibri“ der speziell auf messtechnische Anforderungen ausgelegt ist (Bild 2).

Die Entwickler optimieren dabei die komplette Messprozesskette, angefangen von der artefaktreduzierten Röntgenaufnahme bis hin zu genauen Messwerkzeugen für Form- und Lageauswertung. Grundlage der 3D-Mess-Anlage ist eine neu entwickelte CT-Anlage die dank präzisen und genauem Manipulationssystem und hochauflösender Röntgentechnik sehr genaue CT-Daten von höchster Qualität liefert. Die Röntgenprojektionen werden dabei online durch ein neuartiges Verfahren zur Artefaktreduktion korrigiert. Sowohl Artefaktreduktion als auch Rekonstruktion laufen parallel zu den Röntgenaufnahmen, so dass nur wenige Momente nach Aufnahme der letzten Projektion das Objekt digital als Voxel-Modell vorliegt. Der zusätzlich eingebaute Ober-

flächensensor namens Kolibri liefert Messpunkte der zugänglichen Oberfläche des Bauteils im gleichen Bezugssystem wie die CT-Daten. Die Vorteile des Kolibri-Systems sind die hohe Geschwindigkeit sowie die hohe Mess-Genauigkeit ($<10\ \mu\text{m}$). Durch die Kombination der CT-Daten mit optischen Informationen aus dem Kolibri-System können somit weitere Genauigkeitssteigerungen erreicht werden.

Anwendungsgebiete für die Computertomographie als Messmittel finden sich in der Kunststoffindustrie, in der Prototypenfertigung, in der Medizintechnik und in der Automobilindustrie überall da, wo es darauf ankommt, zerstörungsfrei und vollständig zu messen. Der Zeitaufwand für Messung und Auswertung liegt bei etwa 30 Minuten und ermöglicht damit eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis im Vergleich zu zerstörenden Messverfahren. Gerade die Möglichkeit, ansonsten unzugängliche Maße schnell messen zu können, macht die CT-Messtechnik interessant für Erstmuster-

prüfungen oder Stichproben zur Prozessüberwachung. Der Soll-Ist-Vergleich bietet zusätzliche wertvolle Informationen etwa für die Nachbearbeitung von Werkzeugen (Bild 3).

Die CT-Technologie wird die klassischen taktilen oder optischen Messsysteme nicht ersetzen, aber es wird mehr Fälle geben, in denen genau geprüft wird, ob ein klassisches KMG oder ein modernes CT-System eingesetzt wird.

Kontaminationskontrolle mittels eines NIR-LED-Photodiodensystems

Werden Bauteile beschichtet, lackiert oder geklebt, sind saubere Bauteiloberflächen die Voraussetzung für die geforderte Produktqualität. Restverschmutzungen auf den Oberflächen beeinträchtigen nicht nur die Funktionalität der technischen Systeme, sie erhöhen auch die Produktionskosten durch Ausschuss.

Hierzu wurde am Fraunhofer IPA ein Sensorsystem entwickelt, das im nahen

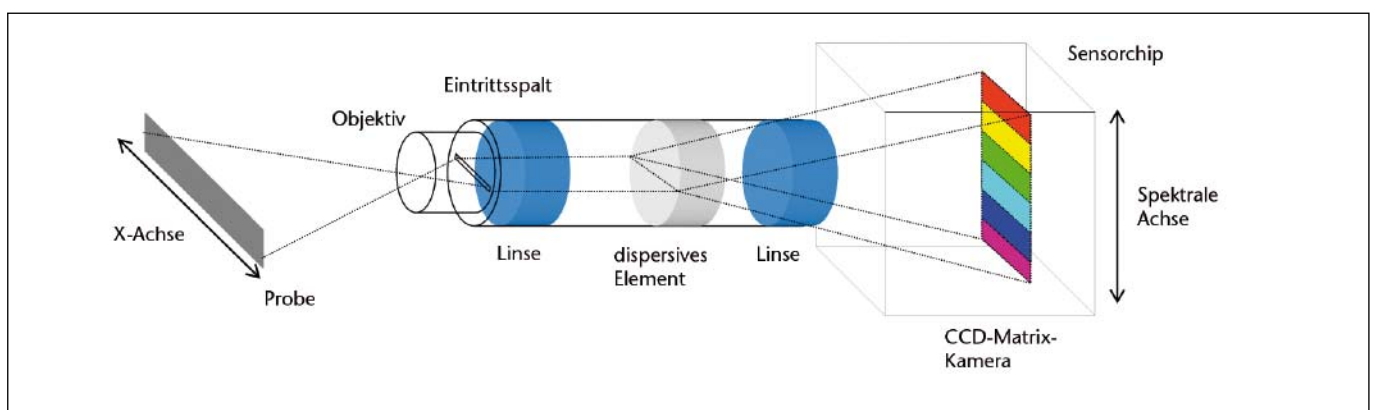


ABB. 5: Prinzip der ortsaufgelösten NIR-Spektroskopie.

Infrarot arbeitet. Es detektiert ölbasierte Kontaminationsfilme, wie z.B. Kühlschmierstoffreste, auf technischen Oberflächen im Fertigungstakt und gewährleistet somit die technische Sauberkeit von Bauteilen auch in Schichten unter 1 µm. Um die Funktionalität des Sensorprinzips unter praxisorientierten Gegebenheiten zu verifizieren wurde ein Robotersystem entwickelt, das während eines Palettiervorgangs Bauteile auf lokale Verschmutzungen prüft. Das in dem Greifer integrierte Sensorsystem untersucht während des Greifprozesses die kreisringförmige Nut des Bauteiles hinsichtlich lokaler Verschmutzungen. Ist das Werkstück sauber, ordnet es das Robotersystem in die Palette. Die verschmutzten Bauteile werden in den Abwurfchacht aussortiert. Durch die Entwicklung des Robotersystems können Qualitätskontrollen von Reinigungsvorgängen direkt am Bauteil ohne Unterbrechung des Produktionsablaufes erfolgen. Durch derartige Qualitätskontrollen lassen sich Ausschusszahlen aufgrund von Bauteilverschmutzungen deutlich reduzieren.

Ortsaufgelöste NIR-Spektroskopie

Die ortsaufgelöste Spektroskopie im nahen Infrarot ist eine Erweiterung des Prüfverfahrens mit einfachen NIR-LED-Photodiodesystemen. Dieses Verfahren besitzt das Potenzial, prozessintegriert Verunreinigungen flächenhaft zu erkennen und auch die Art der Verunreinigungen festzustellen. Durch den ImSpector der Firma Zeutec (Rendsburg) in Kombination mit einer Nahinfrarotkamera können das optische Spektrum und gleichzeitig die Ortsinformationen einer Prüffläche ermittelt werden (Bild 5). Mit dem ortsaufauflösenden Spektroskop wird nicht wie bei konventionellen Spektroskopen ein einzelner Punkt, sondern eine Linie auf der Oberfläche aufgenommen und spektral analysiert. An jedem Punkt der Linie wird die Strahlung in die Nahinfrarot-Spektren zerlegt. In der Kamera entsteht somit ein zweidimensionales Bild der Linie, wobei die Ortsinformationen in den Spalten und die spektralen Informationen in den Zeilen des Bildes enthalten sind. Wird das Prüfobjekt zeilenweise aufgenommen, entsteht eine flächenhafte Abbildung, in der für jeden Bildpunkt die spektralen Informationen zur Verfügung stehen und ausgewertet werden können. Die so entstandenen multimodalen Aufnahmen können mit Bildverarbeitungsverfahren weiter analysiert und kontaminierte Bereiche auf der Oberfläche gekennzeichnet werden. Mit den daraus zur Verfügung stehenden Informationen über Größe und Verteilung kontaminierter Bereiche auf einer Oberfläche können dann entsprechende Maßnahmen, wie z.B. ein

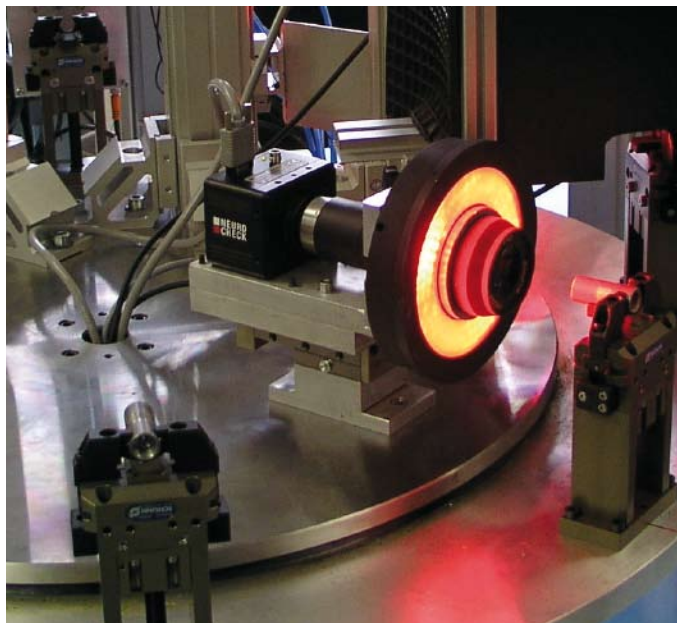


ABB. 6: Realisierte Prüfanlage für die Bohrlochinspektion und Gewindeprüfung.

erneuter Reinigungsvorgang veranlasst werden. Weitere Anwendungsfelder dieser Technologie sind beispielsweise in der Sortierung von Kunststoffteilen oder der prozessintegrierten spektroskopischen Analytik von Grenzflächen zu sehen.

Messen und Prüfen im Fertigungstakt

In der industriellen Fertigung wird der Stellenwert der Qualitätskontrolle immer höher eingestuft. In der Folge steigen die Anforderungen an die Mess- und Prüftechnik, die zunehmend auf der IBV basieren. Hierbei wird meist eine 100%-Kontrolle verlangt, die im Idealfall in die Fertigung integriert ist.

Gewindeprüfung im Sekundentakt

Die fehler- und verschmutzungsfreie Ausprägung von Bohrlochern und Innengewinden kann nun auch für sehr große Stückzahlen mit einer automatisierten 100-Prozent-Prüfung sichergestellt werden. Das neue Prüfkonzept beruht auf neu entwickelten Bildverarbeitungsalgorithmen in Kombination mit einer Superweitwinkel-Optik.

Die schwer zugängliche Geometrie der Innengewinde stellt eine besondere Herausforderung für den Einsatz optischer Inspektionssysteme dar. Bisher beruhten Sichtprüfungssysteme in der Regel auf dem Einsatz von Endoskopen, die in die Bohrung eingeführt werden müssen. Damit lassen sich die Bohrlocher und Innengewinde in hoher Qualität abbilden, jedoch um den Preis eines aufwändigen und langsamen Prüfungsvorgangs. Mit dem Superweitwinkel-Objektiv ist eine Abbildung der Bohrung von außen möglich. Das Objektiv muss nicht eingeführt werden. Somit wird die Taktzeit hauptsächlich

von der Handhabung der Prüflinge und von der Rechnerleistung begrenzt. Bohrungen ab 6 mm Durchmesser können abgebildet werden. Das Verhältnis zwischen Durchmesser und Tiefe der Bohrung ist bei diesem Verfahren zwar begrenzt, für viele typische Anwendungen aber ausreichend. Gewinde M8 können z.B. bis zu 16 mm Tiefe geprüft werden. Die Prüfzeit beträgt hierbei weniger als eine Sekunde. Der sich ergebende Geschwindigkeitsvorteil wird durch eine geringere Abbildungsqualität erkauft. Fallen optische Achse und Bohrlochachse nicht zusammen, ergeben sich Verzerrungen und Helligkeitsschwankungen im Bild. Weiterhin lassen sich Lichtreflexe oder Überstrahlungen nicht völlig vermeiden.

Aus diesem Grund war die Entwicklung von neuen Auswerteverfahren der digitalen Bildverarbeitung erforderlich, die robust gegenüber den Abbildungsdefiziten sind. Die Bohrungen werden auf Oberflächendefekte wie Lunker, Kratzer und Verschmutzungen geprüft. Gewinde werden automatisch erkannt und auf Unterbrechungen, Ausbrüche, Späne und sonstige Defekte geprüft. Alle Auswerteverfahren sind in Form einer eigenständigen Software-Bibliothek und auch als Plug-in für NeuroCheck oder EMSIS erhältlich. Die vorgestellte Lösung wurde in enger Kooperation zwischen dem Ingenieurbüro Weber (Weimar), und dem Fraunhofer IPA in ein industrielles Prüfsystem umgesetzt.

Seit Ende 2004 ist das System im industriellen Einsatz bei einem Hersteller von sicherheitsrelevanten Bauteilen für die Automobilindustrie (Bild 6). Der Kundennutzen liegt im hohen Rationalisierungspotenzial sowie in der Sicherung erhöhter Qualitätsanforderungen.

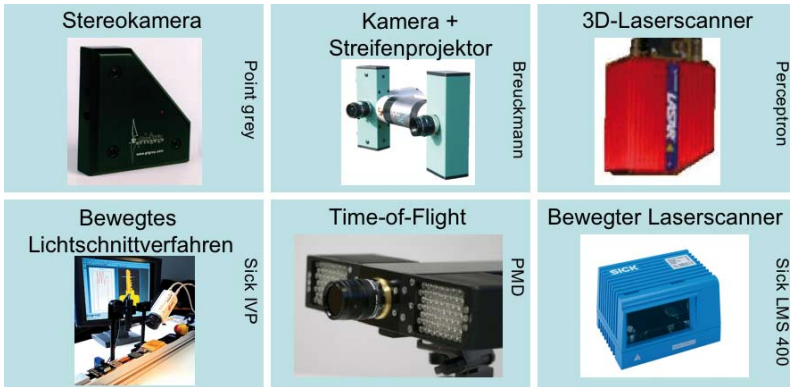


ABB. 7: Häufig eingesetzten Sensoren zur Akquisition von 3D- bzw. 2,5D-Daten.

3-D Bildverarbeitung

3-D Bildverarbeitung in der Robotik

3-D-Datenverarbeitung ist derzeit in aller Munde – dies gilt insbesondere auch für die Handhabungstechnik und Robotik. Während die etablierte 2-D-Bildverarbeitung mit herkömmlichen Kameras ein Helligkeitsbild einer betrachteten Szene liefert, erfassen 3-D Sensoren auch die Entfernung zu den Objekten in der Szene. Durch diese zusätzliche Dimension eröffnet sich eine Vielzahl neuer Anwendungen in der Robotik.

Herkömmliche CCD- bzw. CMOS-Kameras erzeugen ein Helligkeitsbild ihrer Umgebung und ähneln damit dem menschlichen Auge. Um eine Tiefenwirkung zu erzielen, gibt es zwei typische Verfahren: das Triangulationsverfahren und das Laufzeitverfahren. Am Fraunhofer IPA werden je nach Anforderungen der Robotik-Anwendung ein bewegtes Lichtschnittverfahren, Lichtgitterprojektion, ein geschwenkter 2-D-Laserscanner oder eine Time-of-Flight (TOF)-Kamera eingesetzt. Die TOF-Kamera und der 2-D-Scanner basieren hierbei auf dem Laufzeitverfahren. Die beiden anderen Erfassungssysteme arbeiten nach dem Triangulationsverfahren.

Als grobe Richtlinie gilt, dass das Lichtschnittverfahren für einen kleinen Messraum mit hoher Messgenauigkeit und die TOF-Kamera für einen großen Messraum mit geringerer Messgenauigkeit zum Einsatz kommen. Der geschwenkte 2-D-Scanner deckt den Anforderungsraum dazwischen ab. Mit Hilfe von Abstandsbildern wird die Bildinterpretation auf eine völlig neue Grundlage gestellt.

Die Nachfrage nach hochwertigen Automatisierungslösungen in der Produktion ist ungebrochen. Wandelnde Produktionsstrukturen, geändertes Nachfrageverhalten und komplexere Produkte bedingen intelligentere Maschinen und Anlagen. Teilweise müssen sich Maschinen auch in einer natürlichen und veränderlichen Umgebung zurechtfinden. Um dies leisten zu können,

müssen sie mit Sensoren ausgestattet werden, die eine geometrische Erfassung der Umwelt erlauben. Als Anwendungsfelder, die derzeit am Fraunhofer IPA bearbeitet werden, sind hier zu nennen:

- Objektlageerkennung zum Greifen beliebig orientierter Objekte
- Arbeitsraumüberwachung für die direkte Mensch-Maschine-Interaktion ohne trennenden Schutzzaun
- Erkennen und Klassifikation von Hindernissen zur Vermeidung von Kollisionen während der Navigation
- Gestenerkennung zur schnellen und intuitiven Programmierung von Robotern

Griff in die Kiste

Verkürzte Produktlebenszyklen und steigende Variantenvielfalt stellen auch an die Handhabungstechnik immer höhere Anforderungen. Besonders im Hinblick auf das Greifen von teil- oder ungeordneten Objekten sind eine flexible Automatisierung und eine damit einhergehende Materialflussoptimierung wünschenswert.

Typisch für moderne Fertigungsanlagen ist die Entnahme von Werkstücken aus Behältern. Liegen diese Teile ungeordnet,

müssen sie vor der Weiterbearbeitung manuell gerichtet werden. Sinnvoll wäre jedoch, der Roboter könnte ihre Lage selbst erkennen und greifen. Oft sind die Werkstücke vollkommen ungeordnet in Kisten oder Gitterboxen gelagert. Zur automatisierten Zuführung werden die Teile häufig z. B. mittels Wendelförderern oder ähnlichem und Förderbändern mit aufwändiger Mechanik, die speziell auf die Teile abgestimmt ist, vereinzelt. Dies macht die Lösung gegenüber Teileänderungen unflexibel und entsprechende Anpassungen sind teuer. Zudem können große Teile, z. B. Kurbelwellen schlecht mit Wendelförderern gehandhabt werden.

Für eine eingeschränkte Auswahl an Teilen, die nur wenige Vorzugslagen auf einer Ebene einnehmen können, z.B. flache Teile, gibt es leistungsfähige Algorithmen aus der 2-D-Bildverarbeitung, um Position und Orientierung zu bestimmen. Um allerdings völlig ungeordnete Werkstücke mit geringem Platzbedarf direkt aus ihrem Transportbehälter mit einem Roboter aufzunehmen bedarf es einer 3-D-Bildverarbeitung. Eine Änderung der Teilegeometrie soll maximal eine Anpassung bzw. einen Wechsel des Greifersystems bedingen. Daraus ergibt sich die Aufgabe, schnell und sicher die Lage der Objekte bestimmen zu können. Mit der Technologie der dreidimensionalen Datenverarbeitung eröffnen sich hier neue Möglichkeiten.

Je nach Größe der Objekte, ihres Ordnungszustandes und der Größe und Form des Ladungsträgers können unterschiedliche Sensoren eingesetzt werden. Die wesentlichen Parameter bei der Auswahl des „richtigen“ Sensors sind die Auflösung im Raum sowie die Messgeschwindigkeit. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl des Sensors sind die Fähigkeiten des eingesetzten Greifers hinsichtlich Flexibilität und

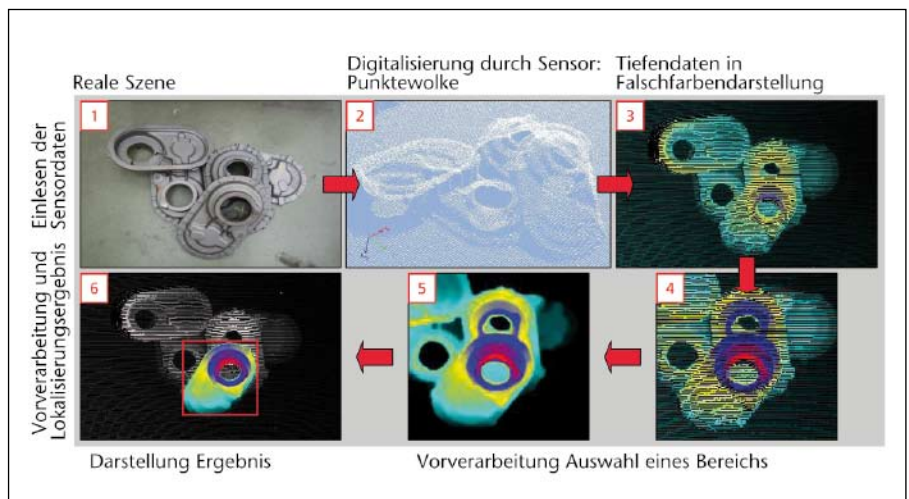


ABB. 8: Ablauf des am Fraunhofer IPA entwickelten modellbasierten Algorithmus.

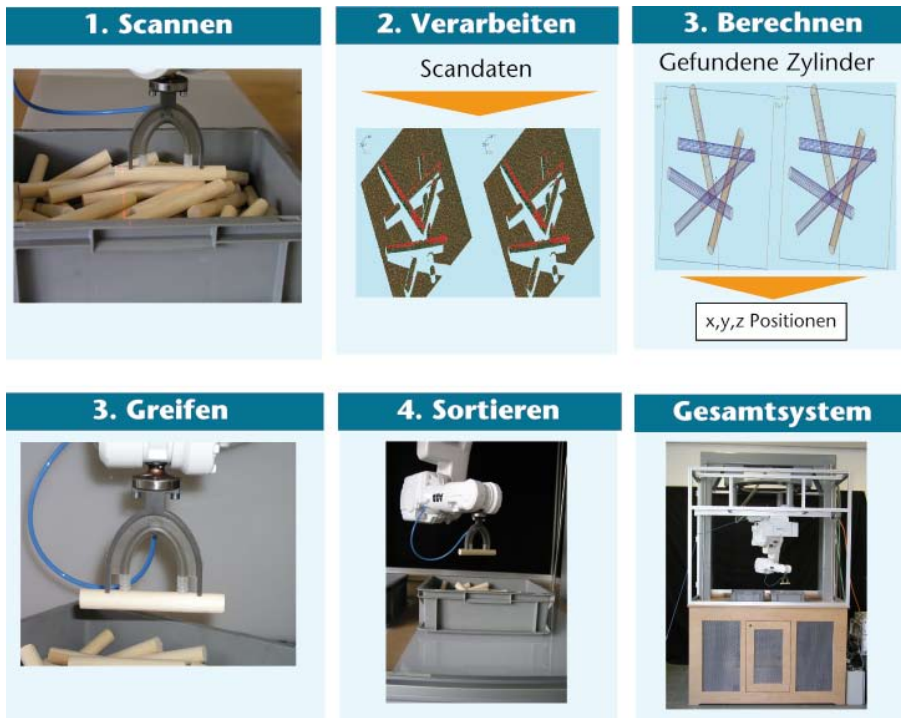


ABB. 9: Ablauf des am Fraunhofer IPA entwickelten regelgeometrischen Algorithmus.

Fehlertoleranz. Besonders unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten lässt sich aus dem Zusammenspiel dieser beiden Schlüsselkomponenten das Ergebnis deutlich optimieren. Bild 7 zeigt eine Auswahl an häufig eingesetzten Sensoren zur Akquisition von 3D- bzw. 2,5D-Daten.

Sind Werkstücke als Schüttgut vorhanden, lassen sie sich nur dann automatisch handhaben, wenn ihre chaotische Lage im Behälter dem Roboter „bekannt“ ist. Diese Informationen liefert der jeweilige 3D-Sensor in Form einer Punktwolke. Diese Punktwolke besteht aus hunderttausenden von 3D-Messpunkten die mit entsprechenden Verfahren und mathematischen Algorithmen so bearbeitet werden müssen, dass eine eindeutige Objektlokalisierung im Raum möglich ist. Zu diesem Zweck wurden am Fraunhofer IPA zwei unterschiedliche Verfahren entwickelt, die applikationsbedingt Ihre Vorteile aufweisen.

Beim modellbasierten Ansatz wird die Messpunktwolke zunächst durch mehrere Vorverarbeitungsschritte (Low-Level-Vision) zur Datenaufbereitung durchlaufen. Danach erfolgt die Auswahl eines geeigneten Bereiches des Behälters (Palette, Band etc.) zum Greifen des Werkstückes. Unter Einbeziehung vorher offline generierter Objektansichten die in einer Datenbank hinterlegt sind, wird der gewählte Ausschnitt ausgewertet (High-Level-Vision). D.h. das System vergleicht die ihm bekannten Daten aus der Datenbank mit den Werten der gemessenen Punktwolke. Es erkennt die Position und Orientierung des Werkstückes. Der Greif-

prozess beginnt. Das Werkstück wird unter Vermeidung von Kollisionen mit anderen Werkstücken oder mit dem Behälter entnommen. Während der Roboter das Werkstück entnimmt und seinem vorgesehenen Zweck zuführt, beginnt ein neuer Messzyklus. Abhängig von der Objektgeometrie und der geforderten Auswertegenauigkeit erreichen wir mit diesem intuitiven und sehr schellen Verfahren Auswertezeiten im Bereich zwischen 2 und 5 Sekunden. Bild 8 gibt eine Übersicht über die benötigten Auswerteschritte zur Berechnung der Objektlage auf einer Palette.

Da die Zuführung in eine Bearbeitungsmaschine, oder das Einsortieren in eine Transport- oder Verpackungseinheit, natürlich einer bestimmten Orientierung folgen

muss, wird das Werkstück durch kurzes Ablegen und Umgreifen neu ausgerichtet. Dieser Prozess erfordert lediglich eine 2-D-Auswertung und kann deshalb – wie in vielen Applikationen zuvor – von einer CCD Kamera unterstützt werden, mit der Folge, dass die Greifgenauigkeit bei der Entnahme aus dem Behälter reduziert werden kann.

Beim regelgeometrischen Ansatz erfolgt die Objektlokalisierung direkt auf den Sensorinformationen (Messpunktwolke). Bei diesem Ansatz werden regelgeometrische Elemente wie z.B. Kugel, Zylinder, Kegel oder Torus in der Punktwolke gesucht und mit dem aus der Messtechnik bekannten Verfahren des „Best-Fit“ automatisch segmentiert. Auf Basis dieses Algorithmus ist nun der „Griff in die Kiste“ modellfrei für Bauteile die hauptsächlich aus Regelgeometrien aufgebaut sind lösbar.

Die Industrietauglichkeit dieses Ansatzes konnte mit der Realisierung des Messexponats 3D-4Robots in Kooperation mit dem Robotersystemhaus robomotion unter Beweis gestellt werden. Mit dem entwickelten Robotersystem werden Rechenzeiten unter 1 Sekunde mit höchster Genauigkeit erreicht (Bild 9).

Ist schlussendlich ein Lösungsansatz mit Sensor und Auswertung gefunden, werden entsprechende Machbarkeitsstudien durchgeführt. Dabei werden die gewonnenen Resultate auf ihre Alltagstauglichkeit und auf ihren ökonomischen Effekt überprüft: Werden wirklich alle relevanten Objektlagen gefunden? Ist der Rechengvorgang wirklich schnell genug?

Am Ende all dieser Prozesse und Entwicklungen steht schließlich ein System, das zum einen wirtschaftliche Vorteile bringt. Zum anderen sollte es problemlos in vorhandene Produktionsabläufe zu integrieren sein oder es sollte die Basis für eine neue ökonomischere Fertigungslinie liefern.

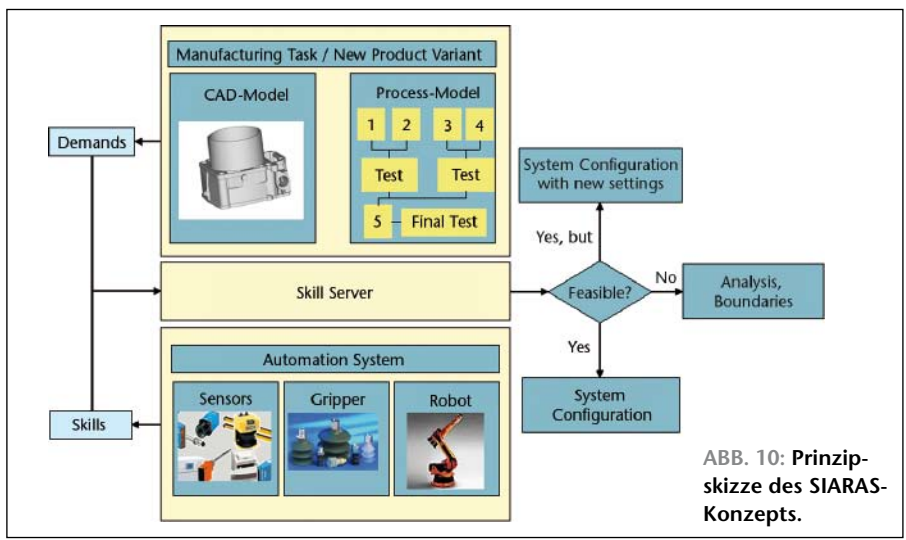


ABB. 10: Prinzipskizze des SIARAS-Konzepts.

CCD-Zeilenkameras

128 bis 10 680 Pixel, sw und Farbe

CCD-Zeilenkamera mit modularem

Schnittstellenkonzept: Analog: RS422, LVDS, CameraLink, USB 2.0, Digital: **GIG**™



Zukunftsvision

Unsere Zukunftsvision geht hin zu Systemen, die ihre spezifischen technischen Fähigkeiten an übergeordnete Leitsysteme kommunizieren können und somit eine adaptive Qualitätsprüfung durch eine automatisierte Konfiguration von Bildverarbeitungssystemen bei variantenreichen Produktionslinien ermöglichen. Dies bedeutet, dass sich die Bildverarbeitungssysteme bei einem Produktwechsel automatisch auf die neuen Prüfanforderungen der Produktvariante konfigurieren.

Diese Vision lassen wir in einem von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojekt in naher Zukunft Wirklichkeit werden. Unter dem Titel „SIARAS – Skill-based Inspection and Assembly for Reconfigurable Automation Systems“ arbeiten wir an der Entwicklung von konfigurierbaren Automatisierungssystemen für die variantenreiche, hochautomatisierte Produktion. Dafür werden Protokolle entwickelt, die die spezifischen technischen Fähigkeiten von Teilsystemen wie Sensoren, Roboter und Handhabungsmodulen an übergeordnete Steuerungssysteme übertragen. Alle Geräte und Anlagen eines Produktionssystems werden dafür an einem zentralen Server registriert (Skill-Server). Der Skill-Server unterstützt den Produktionsleiter im Werk bei der Durchführung von Rekonfigurationsmaßnahmen zur Umstellung auf Produktvarianten, in dem er Aussagen zu Einstellungsveränderungen der Systemkonfiguration liefert. Hierdurch kann dem Trend zu kleineren Losgrößen durch flexiblere und rekonfigurierbare Bildverarbeitungssysteme Rechnung getragen werden und in Produktionslinien Rüstzeiten minimiert und die Einsatzflexibilität der Betriebsmittel erhöht werden.

Für die digitale Produktionsplanung ergeben sich mit derartigen Ansätzen Vorteile

zur Erhöhung des Wirkungsgrads der Planung, in dem der Produktionsplaner schon in der digitalen Entwicklungsphase mittels Simulation die Konfiguration von Bildverarbeitungssystemen für unterschiedliche Produktvarianten überprüfen kann. Das bedeutet, dass Ontologien zur Verfügung stehen müssen, welche die technischen Fähigkeiten (Skills) von Bildverarbeitungssystemen beschreiben. Auf Basis dieser „Skills“ lassen sich die Prüfoptionen und -grenzen schon in der Planungsphase für unterschiedliche Produktvarianten auf einer Produktionslinie untersuchen.

Für die Zukunft sehen wir viele neue industrielle als auch nicht industrielle Anwendungsfelder, die wir mit unseren Konzepten und neuen Ideen gewinnbringend für unsere Kunden in Applikationen umsetzen werden. Die zweistelligen Wachstumswahlen der Branche unterstreichen unsere Strategien und lassen auf weitere interessante Aufgabenstellungen aus der Wirtschaft hoffen.

Turn-key System



Line Scan Sensor Head mit integrierter Hellfeld-Beleuchtung

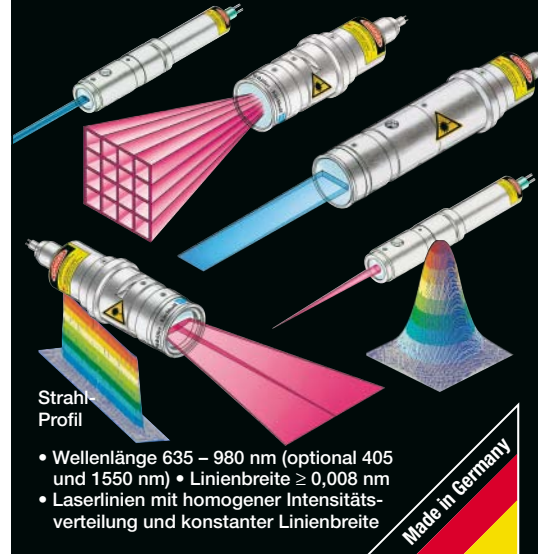
Innovatives Inspektionssystem für die Oberflächen-, Textur-, Dimensions- und Geometriekontrolle

Applikationsbericht: www.SuKHamburg.de/dl/linescan_d.pdf

Machine Vision Components

Laserlinien-Generatoren

Mikrofokus- und Laser-Pattern-Generatoren



- Wellenlänge 635 – 980 nm (optional 405 und 1550 nm) • Linienbreite $\geq 0,008$ nm
- Laserlinien mit homogener Intensitätsverteilung und konstanter Linienbreite



DAS INSTITUT

IPA Stuttgart

Organisatorische und technologische Aufgabenstellungen aus dem Produktionsbereich von Industrieunternehmen bilden die Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. In den Themengebieten Unternehmensorganisation, Automatisierung und Oberflächentechnik agiert das IPA als Impulsgeber im Innovationsprozess für Industrie und die öffentliche Hand. Mit dem Thema Bildverarbeitung beschäftigt sich das IPA seit mehr als 25 Jahren.

Schäfter + Kirchhoff GmbH

Kieler Straße 212 • D-22525 Hamburg
 info@SuKHamburg.de www.SuKHamburg.de



Besuchen Sie uns auf der Vision 2007. Halle 4.0, Stand 4.E.51
 6. – 8. November 2007
STUTT GART