

Serie Praxiswissen – Folge I-02:

Thema: Baugruppen-Montagekontrolle mit Bildverarbeitung

1. Aufgabenstellung

Die Montagekontrolle mechanischer Zusammenbauten ist aus Sicht der Bildverarbeitungstechnologie eine Aufgabe mit vielen Gesichtern bzgl. Schwierigkeitsgrad und Anzahl benötigter Algorithmen. Auf der Schwierigkeitsskala der Bildverarbeitung rangieren Montagekontrollen von sehr einfach bis extrem komplex. Dementsprechend reicht das Angebot von einfachen, durch den ungeschulten Anwender integrierbaren Bildvergleichssensoren bis zu aufwändigen Mehrkameranysystemen mit umfangreicher Softwareentwicklung durch den Anbieter. Allerdings offenbart sich der Schwierigkeitsgrad erst bei näherer Betrachtung aller Anforderungen gemeinsam mit dem Fachmann. So wird aus einer vermeintlichen Trivial-Anwendung schnell eine anspruchsvolle, den Spezialisten erfordernde Aufgabenstellung. Hieraus erklären sich der hohe Informationsbedarf und das erhöhte Risiko von Fehlentscheidungen bei der Auswahl.

Montagekontrollen erfolgen nach der Geometrie-, Oberflächen-, oder Materialprüfung der zu verbauenden Einzelteile und vor oder gemeinsam mit der abschließenden Funktionsprüfung als Endprüfung. Einsatzgründe sind die Fehlerkostenminimierung durch Nacharbeit nahe am Entstehungsort sowie die Reduzierung von Reklamationskosten aufgrund unvollständiger, fehlerhafter oder defekter Produkte. Bei sicherheitsrelevanten Teilen wie z.B. Automobilachsen ist eine 100%-Prüfung mit anschließender Ergebnisdokumentation obligatorisch.

Anwendungsbeispiele reichen von der Vollständigkeitsprüfung von Werkzeugkästen oder Spielesets, über die Sitzkontrolle an Infusionshähnen der Medizintechnik bis zur Aggregatprüfung von Schiebedächern oder Bremsätteln auf Richtigkeit und Vollständigkeit der verbauten Teile sowie auf deren Einbaulage und Teilesitz. Am obersten Ende rangieren Komplettkontrollen von z.B. Verbrennungsmotoren und Achszusammenbauten mit einer Vielzahl von Varianten und oft über 100 zu prüfenden Einzelmerkmalen. Eingesetzt werden dort auch programmverstellbare Schwenk-/ Neige-Kameras mit Fokusverstellung oder auf NC-Achsen verfahrbare Kameras.

Prüfaufgabe	Beschreibung	Beispiele
Vollständigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Sind alle Teile in der Verpackung oder einem Behältnis vorhanden ? 	<ul style="list-style-type: none"> Vollständigkeit von Werkzeugkästen oder Spielesets
Anwesenheit	<ul style="list-style-type: none"> Ist ein Teil am jeweiligen Einbauort vorhanden ? 	<ul style="list-style-type: none"> Anwesenheit von Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben oder Sicherungselementen
Teiletyp	<ul style="list-style-type: none"> Sind die richtigen Teile an den jeweiligen Einbauorten verbaut worden ? 	<ul style="list-style-type: none"> Richtiges Kabel mit der richtigen Farbe an einer Klemme Befestigung der richtigen Variante von Anbauteilen
Einbaulage	<ul style="list-style-type: none"> Ist das Teil in der richtigen Orientierung, z.B. der richtigen Drehlage eingebaut worden ? 	<ul style="list-style-type: none"> Einbaurichtung von Zahnrädern in Zahnblöcken von Getrieben
Teilesitz	<ul style="list-style-type: none"> Befindet sich das Teil in der richtigen Position am Einbauort ? Ist es richtig eingerastet ? Sitzt es schief ? 	<ul style="list-style-type: none"> Sitzkontrolle von Infusionshähnen in der Medizintechnik Sitzkontrolle von Etiketten Sitzkontrolle von Sicherungsringen

Tabelle 1: Prüfaufgaben der Montagekontrolle

Im Rahmen einer Anwendung zur Montagekontrolle sind meistens mehrere Baugruppenvarianten auf eine Vielzahl von Merkmalen zu prüfen. Über die Auswertung von Helligkeit, Farbe oder Form werden je Merkmal einzelne oder mehrere der in Tabelle 1 aufgeführten Einzel-Prüfaufgaben vorgenommen. Oft sind auf die Relationen mehrerer Merkmale zueinander zu prüfen. Als Nebenaufgabe sind häufig eine Variantentyp-erkennung, die Erkennung von Marken, Codes oder Klarschriftkennzeichnungen, Messaufgaben oder Oberflächenprüfungen zu integrieren.



2. Verfügbare Lösungstechnologien und Produktklassen

So vielfältig wie die Aufgabenstellung sind auch die zur Montagekontrolle einsetzbaren Bildverarbeitungsprodukte. Wesentliche Unterschiede liegen in der Anzahl der Kameras, der Anwenderprogrammierbarkeit, dem Bedienkonzept sowie der aufgabenspezifischen Anpassbarkeit bzgl. z.B. Beleuchtung, Optik, Vorverarbeitungsalgorithmen, Ablaufprogrammierung und Schnittstellenanbindung.

1. Bildverarbeitungssensoren	
Bildverarbeitungssensoren orientieren sich als Produktphilosophie soweit möglich am Einrichtungs- und Bedienkonzept einfacher Sensoren wie Reflexlichttaster mit Teach-In. Sie verfügen über eine begrenzte Anzahl einfacher, durch den Anwender z.B. über Funktionstasten wählbare Bildauswertungsmethoden. Fixfokus-Objektiv und integrierte Beleuchtung vereinfachen die Integration.	
1.1.	Flächenkamera-Bildverarbeitungssensoren Für die Montagekontrolle eignen sich Bildverarbeitungssensoren mit einem 2D-Kamerachip. Typische Auswertemethoden sind der Vergleich von gespeicherter Vorlage und aktuellem Bild durch Auszählung der Bildpunkte eines Merkmals, Differenzbildung der Grauwertbilder oder Prüfung auf Lagerichtigkeit.
2. Mehrzweck-Bildverarbeitungssysteme	
Hersteller von Mehrzweck-Bildverarbeitungssystemen verfolgen einen Produktansatz bei dem die Realisierung von konkreten Anwendungen nicht durch den Hersteller selbst sondern durch Systemintegratoren als Dienstleister oder durch geschulte Spezialisten des Anwenders erfolgt. Sie eignen sich für Bildverarbeitungsanwendungen mittlerer Komplexität.	
2.1.	Kameraintegrierte Mehrzweck-Bildverarbeitungssysteme Auch als intelligente Kameras bezeichnet. Bilderfassung, Bildauswertungsrechner und Schnittstellen sind im Kameragehäuse integriert. Objektiv und Beleuchtung werden wie bei anderen Bildverarbeitungssystemen an die Aufgabenstellung angepasst.
2.2.	Mehrzweck-Bildverarbeitungssysteme mit Spezialhardware Zur Optimierung von Leistungsfähigkeit, Preis-/ Leistungsverhältnis oder Bauraum haben viele Seriengerätehersteller spezifische Elektronikplattformen für ihre Mehrkamera-Bildverarbeitungssysteme entwickelt. Der Einsatzbereich ist mit PC-basierten Systemen vergleichbar.
2.3.	PC-basierte Mehrzweck-Bildverarbeitungssysteme Mehrkamera-Bildverarbeitungssysteme auf Basis von Industrie-PCs, Standard-Betriebssystemen mit Windows-Bedienoberfläche und marktgängigen Bilderfassungs-Einsteckkarten bieten gute Integrationsmöglichkeiten z.B. zur Anbindung von Datenbanken oder Statistikprogrammen. Bei der Bildverarbeitungssoftware handelt es sich überwiegend um Eigenentwicklungen der Anbieter.
3. Bildverarbeitungslösungen	
Bildverarbeitungslösungen sind schlüsselfertig umgesetzte Applikationen einschließlich Engineering für z.B. Beleuchtung, Programmierung und Schnittstellenintegration. Die Programmierung erfolgt generell durch den Anbieter. Diese Vorgehensweise wird für komplexe und anspruchsvolle "High end" Bildverarbeitungsanwendungen gewählt.	
3.1.	Bildverarbeitungslösungen für allgemeine Fertigungsaufgaben Viele Lösungsanbieter realisieren unterschiedlichste Bildverarbeitungs-Applikationen auf Basis einer eigenen konfigurierbaren Universalplattform. Die meisten davon bieten auch Lösungen für anspruchsvolle Aufgaben der Montagekontrolle an.
3.2.	Bildverarbeitungslösungen zur Montagekontrolle Insbesondere einige in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie tätige Anbieter haben spezielle Lösungspakete für komplexe Montagekontrollen entwickelt sowie umfangreiche Anwendungserfahrung erworben. Aus technischer Sicht unterscheiden diese sich kaum von den Universalplattformen.

Tabelle 2: Bildverarbeitungsprodukte zur Montagekontrolle



3. Auswahl der Lösungstechnologie

Entscheidend für die Auswahl der Bildverarbeitungs-Lösungstechnologie sind vor allem die Anzahl der benötigten Kameras, die Anzahl der zu prüfenden Produktvarianten und Prüfmerkmale je Variante, sowie Schwankungen in Bereitstellungsposition und Oberflächeneigenschaft. Außerdem spielen Anforderungen der Systemintegration eine Rolle.

Bestimmt wird die Kamera-Anzahl durch die notwendigen Blickrichtungen zur Prüfung aller Merkmale, sowie durch die Lage der in jeweils einer gemeinsamen Ebene liegenden Prüfmerkmale zueinander. Die maximale Größe eines Kamera-Bildfensters ergibt sich aus dem kleinsten zu erkennenden Merkmal und der sich daraus ableitenden Kameraauflösung. Für jeden Kamerachip besteht ein festes Verhältnis von Bildfenstergröße zu Auflösung über die Anzahl der Bildpunkte. Zur sicheren Erkennung eines Merkmals in der Montagekontrolle werden als Faustregel 5 Bildpunkte benötigt.

Eine hohe Vielfalt an im Typenmix zu prüfenden Varianten und eine hohe Anzahl von Prüfmerkmalen stellen entsprechende Anforderungen an Programmverwaltung und Programmkomplexität.

Auswahlkriterien	Bildverarbeitungssensoren	Mehrzweck-Bildverarbeitungssysteme	Bildverarbeitungslösungen
Anzahl Kameras	<ul style="list-style-type: none"> 1 Kamera 	<ul style="list-style-type: none"> 1 bei Intelligenter Kamera 1-4 bei Systemen mit Spezialhardware 1-16 Kameras bei PC-basierten Systemen 	<ul style="list-style-type: none"> 1-16 Kameras; in Netzwerklösungen bis 64 Kameras
Variantenzahl	<ul style="list-style-type: none"> Typisch 1-4 Varianten 	<ul style="list-style-type: none"> Sinnvoll bis ca. 15 Varianten bei Intelligenen Kameras und Spezialhardware-Systemen Praktisch unbegrenzt bei PC-basierten Systemen 	<ul style="list-style-type: none"> Praktisch unbegrenzt Datenbankanbindung für extern ausgelagerte Variantenverwaltung möglich
Anzahl Prüfmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> Typisch 1-3 Prüfmerkmale 	<ul style="list-style-type: none"> Sinnvoll bis ca. 10 Prüfmerkmale bei Intelligenen Kameras Praktisch unbegrenzt bei Systemen auf Basis von PC oder Spezialhardware 	<ul style="list-style-type: none"> Schwankende Reflexionen Wechselnde Farben Hintergrund mit (wechselnden) Strukturen oder Texturen
Positionsschwankung	<ul style="list-style-type: none"> Verschiebungen in der Ebene (nur bei einigen Systemen) 	<ul style="list-style-type: none"> Verschiebungen Verdrehungen (bei vielen Systemen bis 360°) 	<ul style="list-style-type: none"> Verschiebungen Verdrehungen Entfernungsschwankungen (eingeschränkt) Verkippungen aus der Ebene (eingeschränkt)
Varianz der Objektoberflächen (Farbe, Reflexion etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Sehr gering 	<ul style="list-style-type: none"> Gering bis Mittel 	<ul style="list-style-type: none"> Mittel bis sehr hoch

Tabelle 3: Auswahlkriterien für Bildverarbeitungs-Lösungstechnologien zur Montagekontrolle

Am meisten fordert das Bildverarbeitungssystem jedoch die Beherrschung variierender Merkmalpositionen, Objektoberflächen und Umgebungsbedingungen. Kabel, Markierungen oder handgeklebte Etiketten können sich an unterschiedlichen Positionen korrekterweise befinden. Unterschiedliche Materialien, Oberflächenbehandlungen und Alterungszustände von Teilen können eine ganze zu erkennende Farbpalette ergeben. Neue oder stumpfe Werkzeuge, frisches oder verbrauchtes Strahlmittel wiederum führen mal zu glänzenden und mal zu stumpfen Oberflächen. Diese wahre Komplexität einer Montagekontrollaufgabe offenbart sich oft erst in der Umsetzung oder im Betrieb.

Letztlich gilt die Grundregel, dass ein Bildverarbeitungssystem in der Auswertung nur erkennen kann, was Beleuchtung und Kamera vorher als Helligkeits- oder Farbunterschied erfasst haben. Deshalb bestimmt die auftretende Varianz entscheidend Produktauswahl, Engineeringaufwand und Lösungskosten.



4. Anforderungsparameter und Produktauswahl

Bei der Lastenhefterstellung und Produktauswahl sind insbesondere folgende Spezifikationsparameter zu berücksichtigen:

Anforderungsparameter	Definition/ Einfluss/ typische Werte
Anzahl Prüfansichten	Anzahl benötigter Blickrichtungen, um alle Eigenschaften aller Prüfmerkmale erkennen zu können. Zu berücksichtigen ist auch die Einsehbarkeit aller Prüfmerkmale für Kameras.
Kleinste zu erkennendes Merkmal	Hierbei kann es sich z.B. um einen zu erkennenden Bolzen, ein Befestigungsloch, eine Lasche oder eine Teilemarkierung handeln. Das kleinste zu erkennende Merkmal bestimmt die erforderliche Kameraauflösung. Für eine sichere Erkennung sind ca. 5 Bildpunkte des Kamerachips nötig.
Größte Prüfflächengröße	Innerhalb einer Prüfansicht bildet die Prüffläche ein umschreibendes Rechteck um alle Prüfmerkmale. Das Verhältnis Prüffläche zu kleinster Prüfmerkmalgröße entscheidet ob eine Kamera zur Prüfung der jeweiligen Prüfansicht ausreicht oder mehrere benötigt werden.
Anzahl Kameras	Die Anzahl der benötigten Kameras ergibt sich aus der Anzahl unterschiedlicher Prüfansichten und den pro Ansicht bzgl. Prüffläche und Auflösung erforderlichen Kameras. Anstelle einer hohen Anzahl statisch eingesetzter Kameras kommen auch programmverstellbare Schwenk-/ Neigekopfkameras oder mittels Bewegungsachsen verfahrbare Kameras als Alternative in Betracht.
Variantenzahl	Anzahl der im Typenmix zu prüfenden Baugruppenvarianten. Ein unmittelbarer Einfluss ergibt sich auf die Prüfprogrammverwaltung. Viele Bildverarbeitungssysteme können nur eine begrenzte Anzahl Programme speichern und verwalten. Bei sehr hohen Variantenzahlen ist eine Datenbankanbindung zur ausgelagerten Verwaltung nötig.
Anzahl Prüfmerkmale	Größte Anzahl pro Baugruppenvariante zu prüfender Eigenschaften von Teilen, Teileausschnitten oder Beziehungen zwischen Teilen. Die Anzahl der Prüfmerkmale bestimmt die Komplexität des zu konfigurierenden Prüfablaufs. Je einfacher das Bildverarbeitungssystem in der Konfiguration desto starrer ist der darunter liegende Programmablauf.
Prüfmerkmaltypen	Wodurch unterscheidet sich das zu prüfende Teil oder der Teileausschnitt optisch von seiner Umgebung? Zu erkennen sind Prüfmerkmale, die sich in Helligkeit, Farbe oder Form vom Hintergrund absetzen. Dementsprechend sind Schwarz-/ Weiß-Kameras, Farbkameras oder aktive Beleuchtungen zur Sichtbarmachung von Höhenprofilen gefragt. Die Bildverarbeitungssysteme müssen sich für den Einsatz damit eignen.
Taktzeit	Die zur Prüfung benötigte Zykluszeit ist bei Bildverarbeitungsanwendungen zur Montagekontrolle meistens unkritisch. Selbst komplexe Mehrkeralösungen benötigen typischerweise nicht mehr als 0,5 - 1,0 s. Aber auch Taktzeiten von 0,1 – 0,05 wurden für Hochgeschwindigkeitsanwendungen realisiert.
Positionierungsvarianzen	Bereitstellungstoleranzen der zu prüfenden Baugruppen und Prüfmerkmale. Verschiebungen in der Ebene werden von fast allen Bildverarbeitungssystemen beherrscht. Kritisch wird es bereits bei Verdrehungen. Einfache Systeme können diese nicht ausgleichen, andere schaffen bis zu 5-10 Grad Verdrehung und leistungsfähige Systeme meistern die vollen 360°. Größere Abstandsschwankungen und Verkippungen werden nur in eingeschränktem Umfang von High end Lösungen beherrscht.
Farbvarianzen	Wechselnde Teile- oder Hintergrundfarben aufgrund von auftragsindividuellen Produktfarben, Materialschwankungen oder unterschiedlichen Beschichtungen. Auch Rost, Alterung oder prozessbedingte Einfärbungen wie Schmauchspuren infolge abgenutzter Werkzeuge beim Bolzenschweißen führen zu Varianzen. Für die Bildverarbeitung führt jeder Wechsel zu Kontrastschwankungen, die nur mit leistungsfähigen Systemen und mit hohem Engineeringaufwand zu beherrschen sind.
Reflexionsvarianzen	Präsentieren sich die Prüfmerkmale mit unterschiedlichen Reflexionen – mal glänzend und mal matt ? Neue oder stumpfe Werkzeuge, frisches oder verbrauchtes Strahlmittel führen zu glänzenden bzw. stumpfen Oberflächen beim gleichen Prüfmerkmal. Auch hier gilt es, die Kontrastschwankungen zu beherrschen.
Wechselnder Lichteinfall	Wechselnder direkter Tageslicheinfall nach Jahres- und Uhrzeit oder wechselnde Hallenbeleuchtung beeinflussen das aufgenommene Bild in Helligkeit und Kontrastverhältnissen. Auch Personen im Arbeitsbereich z.B. an Handarbeitsplätzen können Störungen verursachen. Ggfs. sind Zusatzaufwendungen für einen Lichtkasten als Abschirmung erforderlich.

Tabelle 4: Anforderungsparameter für Spezifikation und Produktauswahl



5. Inhalte im Such- und Spezifikationswerkzeug xpertgate

In dem gebührenfreien Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.de finden Sie zu diesem Thema:

- Produktsuchen zur Produktauswahl über die oben beschriebenen Anforderungsparameter
- Lösungssuchen zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung und Variantenfertigungssteuerung
- Eine Lieferantenübersicht der am deutschen Markt vertretenen Anbieter zu den oben beschriebenen Produktklassen
- Applikationsbeispiele

