Praxiswissen – Folge I-01:

Thema: Lösungen zur Matrixcodelesung

1. Aufgabenstellung

Die Verfügbarkeit eines neuen Codestandards mit hohem Informationsgehalt, kleinen Abmessungen, und hoher Fehlertoleranz trifft auf Anwenderseite, namentlich in der Automobilindustrie, auf die Forderung nach individueller Teilekennzeichnung zur Fehlerrückverfolgung. Dieses erklärt die Aktualität des Themas Matrixcodelesung.

Wichtigste Anwendung ist die Fehlerrückverfolgung anhand dauerhaft aufgebrachter Codierungen. In der Automobilindustrie und Automobilzulieferindustrie ist die Rückverfolgung fehlerhafter Einzelteile durch die komplette Lieferantenkette über den Hersteller bis zur Produktionscharge die Grundlage für kostensparende sowie imageschonende selektive Rückrufaktionen. Für den Flugzeugbau ist außerdem die Eindämmung der Produktpiraterie bei Ersatzteilen und die Möglichkeit zur Rekonstruktion bei Flugunfällen wichtig. Eine Optimierung der Prozesssicherheit von Fertigungsprozessen, z.B. in der Leiterplattenfertigung, wird durch die individuelle Zuordnung von fehlerhaften Teilen und Anlagenparametern möglich. Auch für die Halbleiterindustrie ist die Fehlerrückverfolgung über eine direkte Kennzeichnung der Wafer unter dem Aspekt der Prozesssicherheit von hoher Bedeutung.

Bei zwei weiteren wichtigen Anwenderbranchen, der pharmazeutischen Industrie und der Dokumentenhandhabung steht eher die Kennzeichnungsverifizierung im Vordergrund. In Verpackungsmaschinen der Pharmaindustrie ist die korrekte Zuordnung von Medikament, Beipackzettel, und Umverpackung sicherzustellen. Bei der Dokumentenhandhabung muss in den Sortiermaschinen die korrekte Zusammenstellung individueller Sendungen mit Anschreiben, amtlicher Dokumente, Kontoauszüge etc. geprüft werden.

Anwendung	Beschreibung	Einsatzgründe
Kennzeichnungsverifizierung	• Prüfung der Kennzeichnung auf Lesbarkeit und richtigen Code nach dem Druck bzw. der Prägung • Überwachung auf richtigen Code im Produktionsfluss	• Minimierung von Ablaufstörungen aufgrund nicht lesbarer Codes • Vermeidung von Verwechselungen und Teileuntermischungen
Fehlerrückverfolgung („Tracking and Tracing“)	• Lesen von Codes vor und nach jedem Fertigungsschritt mit individueller Zuordnung von Fertigungs- und Prüfdaten	• Optimierung der Prozesssicherheit von Fertigungsprozessen • Rückverfolgung von Fehlern zu Lieferanten und Chargen • Minimierung der Fehlerkosten bei Ausschuss und Rückruf
Variantenfertigungssteuerung	• Codelesung an Stationen flexibler Fertigungslinien zur dezentralen Zielsteuerung und zur Zuordnung von Fertigungs-, Montage-, oder Prüfprogrammen	• Steuerung flexibler Montagelinien • Synchronisierte Zuordnung von Baugruppenvarianten zur Hauptmontagelinie

Tabelle 1: Anwendungen der Matrixcodelesung

Konkrete Produkte stehen im gebührenfrei zu nutzenden Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.com bereit:

- **Produktsuchen** zur Produktauswahl über die beschriebenen Anforderungsparameter (siehe Tabelle 4)
- **Lösungssuchen** zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung u. Variantenfertigungssteuerung
- **Lieferantenübersichten** zu am deutschen Markt vertretenen Anbietern der genannten Produktklassen
- **Applikationsbeispiele**

© xpertgate/ Juni 02

2. Verfügbare Lösungstechnologien und Produktklassen

Im Grunde basieren alle Lösungsprinzipien auf der Bildverarbeitungstechnologie. Insbesondere bei lesbaren Kennzeichnungsverfahren, Programmierung und Preis gibt es jedoch deutliche Unterschiede. Codelesegeräte entsprechen von der Anwenderbedienung her Barcodescannern, nur eben für Matrixcodes, und sollen sich darüber bewusst von den komplexeren Bildverarbeitungssystemen abgrenzen. Kamera mit Fixfokusobjektiv, Beleuchtung, und Elektronik sind in ein kompaktes Gehäuse integriert. Hingegen erlauben Bildverarbeitungslösungen zur Matrixcodelesung über Programmiereingriffe sowie Anpassungen von Objektiv und Beleuchtung ein sicheres Lesen auch unter schwierigen Bedingungen. Entsprechend der Lösungstechnologie sind nachstehende Produktklassen zu unterscheiden:

1. **Kamera-Codelesegeräte**
1.1. **Zeilenkamera-Codelesegeräte** Bei dieser weniger verbreiteten Technologie wird das Objekt mit dem Matrixcode durch das Lesefeld einer Zeilenkamera gefördert und intern zu einem 2D-Bild zusammengefasst. Es können hohe Auflösungen und Lesefeldbreiten realisiert werden.
1.2. **Matrixkamera-Codelesegeräte** Der Code wird im Lesefeld einer Matrixkamera erfasst und anschließend ausgewertet. Einsatzschwerpunkt dieses am häufigsten eingesetzten Prinzips ist die Lesung von Codes auf Etiketten oder von gut lesbaren Direktmarkierungen unter weitgehend konstanten Kontrastverhältnissen.
2. **Bildverarbeitungslösungen zur Matrixcodelesung**
2.1. **Benutzerprogrammierbare Bildverarbeitungslösungen zur Matrixcodelesung** Diese Produktkategorie wird meistens auf der Basis intelligenter Kameras mit einstellbarem Objektiv und aufgabenspezifischer Beleuchtung realisiert. Handprogrammiergerät und Monitor-Anschlussmöglichkeit ermöglichen eine Programmierung durch geschultes Anwenderpersonal. Einsatzschwerpunkt sind Direktmarkierungen mit variierenden Druck- oder Oberflächenbedingungen.
2.2. **Anbieterprogrammierbare Bildverarbeitungslösungen zur Matrixcodelesung** Für sehr schwierige Anforderungen werden konventionelle Bildverarbeitungssysteme mit Applikationspaketen zur Matrixcodelesung eingesetzt. Eine oder mehrere Kameras werden an leistungsfähige, skalierbare Auswerterechner angeschlossen. Die aufgabenspezifische Programmanpassung auf Hochsprachenebene muss durch den Hersteller oder einen Systemintegrator erfolgen.

Tabelle 2: Lösungstechnologien zur Matrixcodelesung

Konkrete Produkte stehen im gebührenfrei zu nutzenden Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.com bereit:

- **Produktsuchen** zur Produktauswahl über die beschriebenen Anforderungsparameter (siehe Tabelle 4)
- **Lösungssuchen** zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung u. Variantenfertigungssteuerung
- **Lieferantenübersichten** zu am deutschen Markt vertretenen Anbietern der genannten Produktklassen
- **Applikationsbeispiele**

© xpertgate/ Juni 02

3. Auswahl der Lösungstechnologie

Entscheidend für die Auswahl der Lösungstechnologie sind vor allem das Kennzeichnungsverfahren und die damit verbundenen Schwankungen hinsichtlich Druck- bzw. Prägequalität sowie variierenden Hintergrundeigenschaften. Ein weiteres Kriterium sind Anforderungen bezüglich der Leseentfernung z.B. zur Überwindung von Störkanten.

Codierungen können entweder über den Kontrast oder über Vertiefungen aufgebracht werden. Die nachstehenden Kennzeichnungsverfahren sind im Zusammenhang mit Matrixcodes am weitesten verbreitet:

- Bedrucktes Etikett
- Gedruckter Code auf Dokument
- Tintenstrahlkennzeichnung (Ink Jet)
- Laserfarbumschlagmarkierung (Farbumschlag durch lokale Gefügeänderung)
- Lasergravieren
- Nadelprägung

Einen Kontrast weisen gedruckte Codes, Tintenstrahlkennzeichnungen, und Lasermarkierungen nach dem Farbumschlagverfahren auf. Vertiefende Verfahren sind Lasergravur und Nadelprägung. Der zur Lesung erforderliche Kontrast muss hier erst über eine geeignete Beleuchtung als Schattenbild erzeugt werden.

Auswahlkriterien	Codelesegeräte	Bildverarbeitungslösungen
Kennzeichnungsverfahren	• Gedruckte Codes auf Etikett oder Dokument • Direktmarkierungen mit konstanten Kontrastverhältnissen	• Direktmarkierungen wie Laser, Tintenstrahl, oder Nadelprägung bei schwierigen Kontrastverhältnissen
Varianz der Druck- oder Prägequalität	• Gering bis Mittel	• Mittel bis Hoch (insbesondere bei Tintenstrahl oder Nadelprägung)
Varianz der Hintergrundeigenschaften	• Weitgehend konstante Hintergrundeigenschaften	• Schwankende Reflexionen • Wechselnde Farben • Hintergrund mit (wechselnden) Strukturen oder Texturen
Freiraumanforderungen und maximale Leseentfernung	• Keine Kollisionsprobleme mit Störkanten • Entfernung typisch 50 – 100 mm	• Freiraum für Störkanten von Objekt oder Fördertechnik erforderlich • Entfernung bis zu 2000 mm

Tabelle 3: Auswahlkriterien für Lösungstechnologien zur Matrixcodelesung

Gedruckte Codes auf Etiketten und Dokumenten sind in der Regel sicher durch Codelesegeräte zu erfassen. Bei Direktmarkierungen mit Tintenstrahl, Laser, oder Nadelprägung kommen bei konstanten Bedingungen sowohl Codelesesysteme als auch Bildverarbeitungslösungen zum Einsatz. Sollen Codes auf Objektoberflächen mit Wölbungen, variierender Reflektion, wechselnden Farben, oder sogar Strukturierungen gelesen werden sind Bildverarbeitungslösungen erforderlich. Bildverarbeitungslösungen bieten bei schwierigen Aufgabenstellungen zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten dank Ihrer Flexibilität hinsichtlich Beleuchtung, Optik und individueller Softwaremodifikation. Auch Mehrkameralösungen können realisiert werden.

In manchen Anwendungen sind neben Matrixcodes zusätzlich Stapelcodes oder Barcodes gleichzeitig oder im Wechsel zu lesen. Dieses ist bei der Produktauswahl zu berücksichtigen.

Konkrete Produkte stehen im gebührenfrei zu nutzenden Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.com bereit:

- **Produktsuchen** zur Produktauswahl über die beschriebenen Anforderungsparameter (siehe Tabelle 4)
- **Lösungssuchen** zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung u. Variantenfertigungssteuerung
- **Lieferantenübersichten** zu am deutschen Markt vertretenen Anbietern der genannten Produktklassen
- **Applikationsbeispiele**

© xpertgate/ Juni 02

4. Anforderungsparameter und Produktauswahl

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

Anforderungsparameter	Definition/ Einfluss/ typische Werte
Lesefrequenz und Taktrate	Bestimmt wird die Anzahl der durchzuführenden Lesungen pro Sekunde durch die Taktrate mit der die Objekte bzw. Codes präsentiert werden. Bezüglich dieser Lesefrequenz unterscheiden sich die angebotenen Systeme erheblich. Die Werte liegen zwischen 3 und 50 Hz.
Maximale Fördergeschwindigkeit	Wenn aus der Bewegung heraus gelesen werden soll, ist die relative Geschwindigkeit der Codes zum stationären Lesegeräts während des Lesevorgangs wichtig. Während der Bildaufnahmezeit der Kamera darf sich der Code nur um Bruchteile eines Matrixelements bewegen, damit ein scharfes Bild aufgenommen werden kann. Manche Geräte eigenen sich nur für statische Lesungen im Stillstand, die meisten anderen sind für Geschwindigkeiten bis 120 m/min geeignet.
Leseabstand und benötigter Freiraum	Der zwischen Code und Lesegerät einzuhaltende Mindestabstand, um Kollisionen mit Störkanten von Objekt oder Fördertechnik zu vermeiden. Die meisten Codelesegeräte sind auf einen Objektabstand von 60 – 80 mm eingestellt. Mit Bildverarbeitungslösungen können Abstände von bis zu 2000 mm realisiert werden. Diese Abstände werden häufig in der Automobilindustrie benötigt.
Matrixcodetyp	Welcher Matrixcode ist zu lesen? Für industrielle Anwendungen entwickelt sich der Data Matrix Code ECC 200 zum Standard. Weitere Matrixcodes von Bedeutung, die nicht von allen Geräten gelesen werden können, sind Aztec, Dot Code A, MaxiCode von UPS, und der japanische QR Code.
Symbolgröße und benötigte Datenmenge	Die Anzahl der Zellen in einem Code ergibt die Symbolgröße. Eine Symbolgröße von 24x24 beschreibt demnach einen Matrixcode mit jeweils 24 Zellen in Höhe und Breite. Bestimmend ist die Symbolgröße für die auf einem Code unterzubringende Datenmenge. Ein Code mit der Symbolgröße 24x24 erlaubt z.B. die Darstellung von 72 Ziffern oder 52 Zeichen.
Modulgröße und Auflösung	Unter Modul wird eine Zelle des Matrixcodes verstanden, und die Modulgröße, auch Zellengröße oder Elementgröße genannt, ist dementsprechend die Kantenlänge einer Zelle. Die Modulgröße ist abhängig von der Druckerauflösung. Typische Modulgrößen sind 0,2-0,4 mm. Der kleinste zu lesende Code bestimmt die benötigte Kameraauflösung.
Codegröße und Lesefeldgröße	Aus der Kantenlänge des gesamten Matrixcodes ergibt sich die Codegröße. Sie lässt sich auch aus Modulgröße x Symbolgröße errechnen. Die Codegröße muss kleiner sein als das Lesefeld der Kamera. Bei einer Modulgröße von 0,2 mm und einer Symbolgröße von 24x24 beträgt die Codegröße z.B. ca. 4,8 x 4,8 mm.
Seitliche Positionierungsschwankung	Wiederholgenauigkeit der Codeposition zum Lesegerät in seitlicher Richtung unter Berücksichtigung der Bereitstellungstoleranzen. Das Kamerafeld muss ausreichend groß sein, um den gesamten Code zu erfassen und zusätzlich diese seitliche Bereitstellungsschwankungen auszugleichen.
Tiefenschärfe und Abstandsschwankung der Bereitstellung	Abstandsbereich um die Fokuslage des Kameraobjektivs in dem die Kamera ein scharfes Bild aufnehmen kann. Die Bereitstellungsschwankungen des Objekts in Leserichtung dürfen nicht größer als diese Tiefenschärfe sein, die typischerweise 10 - 30 mm beträgt.
Wechselnder Oberflächenkontrast	Wechselnde Hintergrundfarben aufgrund von Materialschwankungen, unterschiedlichen Beschichtungen, Rost, oder unterschiedliche Objektfarben sind die größte Herausforderung zur Erzielung einer hohen Lesesicherheit und Verfügbarkeit. Bei farblich strukturierten oder sogar wechselnd strukturierten Hintergründen wird die Grenze der Machbarkeit erreicht. Für die Bildverarbeitung führt jeder Wechsel zu Kontrastschwankungen, die nur mit leistungsfähigen Systemen und mit hohem Engineeringaufwand zu beherrschen sind.
Oberflächenwölbung	Ist die Oberfläche auf dem der Code aufgebracht ist gewölbt? Wölbungen führen zu Verzeichnungen des Bildes und können nur bis zu bestimmten physikalischen Grenzen durch Auswertealgorithmen kompensiert werden.

Tabelle 4: Anforderungsparameter für die Produktspezifikation

Konkrete Produkte stehen im gebührenfrei zu nutzenden Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.com bereit:

- **Produktsuchen** zur Produktauswahl über die beschriebenen Anforderungsparameter (siehe Tabelle 4)
- **Lösungssuchen** zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung u. Variantenfertigungssteuerung
- **Lieferantenübersichten** zu am deutschen Markt vertretenen Anbietern der genannten Produktklassen
- **Applikationsbeispiele**