Maschinelles Sehen (Machine Vision) und Temperaturmessung in Einem

Tageslichtkameras waren lange Zeit ein wichtiges Element in Machine-Vision-Systemen, die zur Automatisierung von Prüfvorgängen und für die Prozesssteuerung eingesetzt wurden. Bei vielen dieser Systeme müssen zur Sicherstellung der Produktqualität auch Temperaturmessungen vorgenommen werden. Eine Infrarotkamera kann dabei meistens sowohl ein Bild des Produkts als auch kritische Temperaturdaten liefern.

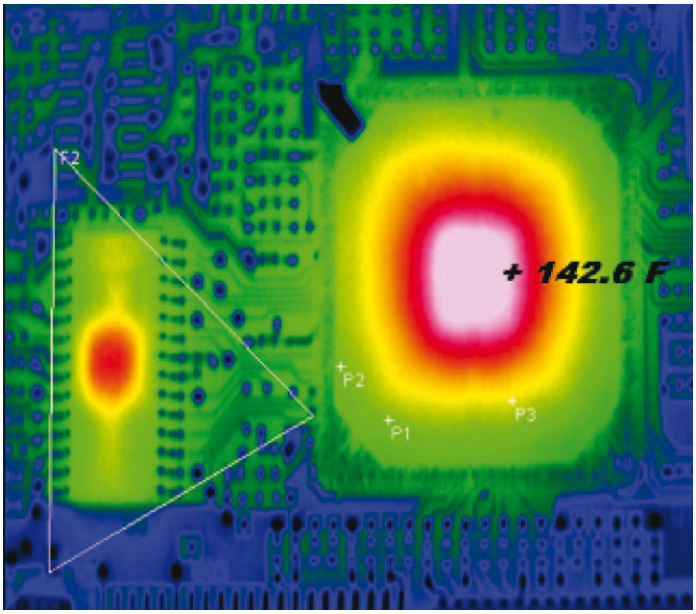

Bild 1: Ergebnisse einer automatisierten Prüfung von integrierten Schaltungen auf einer Leiterplatte

Wenn Wärmebilder und berührungslose Temperaturmessungen für eine Anwendung unerheblich sind, dann ist eine Tageslichtkamera sicherlich die kostengünstigere Alternative. Im umgekehrten Fall aber sollte der Systemdesigner den Einsatz einer Infrarotkamera in Erwägung ziehen. Infrarotkameras und auch die dazugehörige Hard- und Software erfüllen zunehmend höhere technische Ansprüche, und so kommen sie immer häufiger in automatisierten Systemen zum Einsatz.

Dank der Möglichkeit der Bilddarstellung und Temperaturmessung in einem können sie äußerst kosteneffektiv sein. Dass Infrarotkameras nicht noch umfassender eingesetzt werden, ist vor allem auf die mangelnde Vertrautheit der Systementwickler mit den Funktionen der Geräte, sowie mit den dazugehörigen Standards und Systemen und der Support-Software zurückzuführen. Das folgende Kapitel liefert einen Großteil dieses Wissens.

Machine-Vision-Anwendungen

Wie Tageslichtkameras, so können auch Thermografie-Kameras und ihre Software Größe, Form und relative Lage von Zielobjekten erkennen, also eine Mustererkennung vornehmen. Die Elektronik neuerer Infrarotkameramodelle bietet zudem eine schnelle Signalverarbeitung mit hohen Bildfrequenzen (mindestens 60 Hz), so dass auch Teile auf einem verhältnismäßig schnell laufenden Fertigungsband erfasst werden können. Ihre A/D-Wandler vereinen kurze Integrationszeiten mit hoher Auflösung, und dies ist ein kritischer Faktor für die korrekte Charakterisierung von beweglichen Zielen oder solchen, deren Temperatur schnell wechselt.

Ein Beispiel für Letzteres ist die automatisierte Prüfung von aktiven integrierten Schaltungen auf einer Leiterplatte (Bild 1). In manchen Fällen gehören dazu auch Überlasttests, bei denen ein Stromimpuls an die integrierte Schaltung angelegt wird, um deren Wärmebelastungskennlinie zu ermitteln. Bei einem dieser Tests wird die integrierte Schaltung mit außerhalb ihrer technischen Grenzwerte liegenden Stromstößen mit einer Impulsdauer von 800 ms in Durchlass- und in Sperrrichtung betrieben. Die Infrarotkamera erfasst während des Stromstoßes und danach Bilder, anhand derer eine Kennlinie des Temperaturanstiegs und -abfalls erstellt werden kann. Bei einer Bildfrequenz von 60 Hz kann etwa alle 17 ms ein neues Bild aufgenommen werden. Innerhalb des Impulses von 800 ms entstehen in einem solchen System fast 50 Bilder, und zur Ermittlung der Wärmeverteilungseigenschaften werden normalerweise im Anschluss daran noch viele mehr aufgenommen.

In anderen Anwendungen dieser Art kann ein gutes Bild abgespeichert und anhand der Bildsubtraktion Pixel für Pixel mit dem Prüfbild verglichen werden. Im Idealfall, also, wenn das Teil einwandfrei ist, ergibt sich daraus ein vollkommen schwarzes Bild, auf dem keine Unterschiede zu erkennen sind.

Übermäßige Temperaturunterschiede deuten auf ein mangelhaftes Teil hin, unerwünschte Abweichungen fallen damit sofort ins Auge.

Anwendungen

Es gibt eine Fülle weiterer Anwendungen, bei denen die Kombination aus berührungsloser Temperaturmessung und hochfrequenter Bildgebung äußerst hilfreich ist. So werden u.a. in folgenden automatisierten Systemen bereits heute Infrarotkameras eingesetzt:

- Teileproduktion und Montagebänder in der Automobilindustrie
- Arbeitsabläufe in Stahlwerken, beispielsweise Schlackenüberwachung und Gießpfanneninspektion
- Gießen, Löten und Schweißen von Metallen und Kunststoffen
- Lebensmittelverarbeitung
- Verpackungsindustrie
- Zerstörungsfreie Tests wie die Erkennung von Hohlräumen in Formteilen
- Anlagenüberwachung bei Stromversorgern
- Forschung & Entwicklung, Prototypherstellung und Produktion in der Elektronikindustrie

Ein interessantes Beispiel aus der Automobilbranche ist die Überwachung der Temperaturverteilung in einer Druckgussform bei der Produktion von sicherheitskritischen Teilen (Bild 2).

FLIR Systems, Inc.
www.flir.de

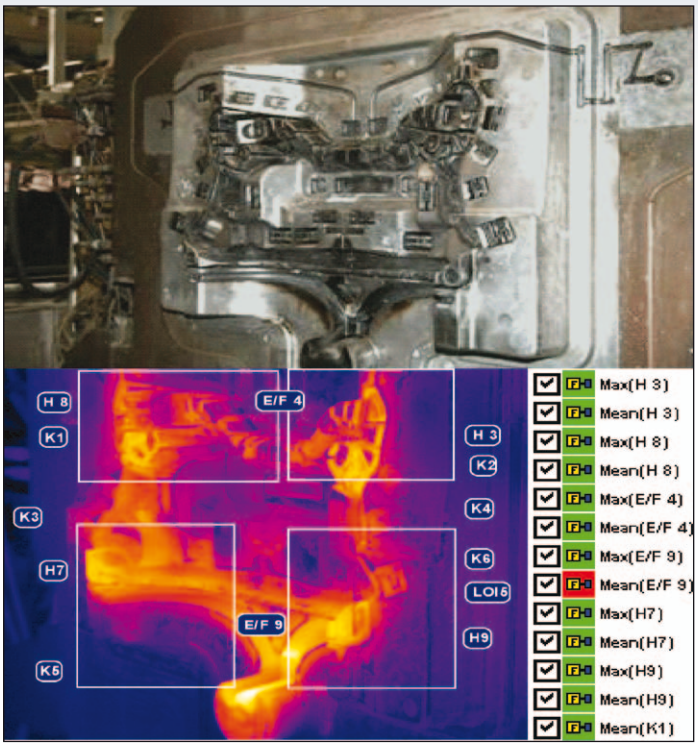

Bild 2: Temperaturverteilung in einer Druckgussform - der Arbeiter korrigiert anhand eines Infrarot-Wärmebildes die Formtemperatur so, dass fehlerfreie Teile produziert werden

Vor der Installation des IR-Machine-Vision-Systems führte der Hersteller zum Aufspüren von unter der Oberfläche liegenden Produktionsmängeln hundertprozentige Prüfungen mithilfe eines Röntgengeräts durch. Als simultanes Verfahren war dies nicht praktikabel, daher wurden die Teile erst einige Stunden nach der Herstellung geröntgt.

Ergaben diese Aufnahmen ein schwerwiegendes Problem bei Teilen aus einer bestimmten Form, wurde diese Information zur Temperaturkorrektur an die Produktion weitergeleitet. Das war zeit- und kostenintensiv und führte häufig zu hohen Ausschussraten. Mit dem Infrarotkamerasystem kann der Arbeiter an der Form nun die Temperaturverteilung in der Form unmittelbar überprüfen und korrigieren.

Unterstützende Technologie

Die Datenübertragung ist das Rückgrat moderner industrieller SCADA-, PLC-, HMI- und Machine-Vision-Systeme. Für diese ist Ethernet heute Standard schlechthin. Für die Praxis in Machine-Vision-Anwendungen maßgebliche Infrarotkamerafunktionen sind damit Gigabit Ethernet (GigE)-Konnektivität, die Konformität mit GigE Vision, eine GenICam-Schnittstelle sowie ein großes Software-Spektrum von Drittanbietern zur Unterstützung dieser Kameras. Es gibt noch weitere relevante Hardware-Funktionen.

In der Regel sind für die angestrebten Anwendungsbereiche keine ultrahohen Detektorauflösungen notwendig, daher würde die typische Auflösug von FPA-Detektoren (Focal Plane Array) bei 320 x 240 Pixeln liegen. Für die Ausgabe eines 16-bit-Bild-Streams dieser 76.800 Pixel mit einer Bildfrequenz von 60 Hz wäre dennoch eine Übertragungsrate von ca. 74 Mb/Sek. erforderlich. Dies liegt zwar deutlich unter der Kapazität eines 1000 baseT-Ethernet-Systems, doch sind u.U. mehrere Kameras angeschlossen, und möglicherweise läuft zwischen den Bildübertragungen noch anderer Verkehr über das Netzwerk.

Zur Beschleunigung der Bildübertragung muss die Datenanalyse und Entscheidungsfindung außerhalb der Kamera vonstatten gehen. Dies ist einer der Gründe für die große Nachfrage nach thermografischer Software von Drittanbietern. Der andere Grund liegt darin, dass die meisten Machine-Vision-Systeme für bestimmte Produktionsprozesse maßgeschneidert sind. Natürlich bieten die Hersteller von Infrarotkameras zur Unterstützung ihrer Produkte und von deren Einsatz in diesen Systemen verschiedene Softwaretypen.

Zielsetzung bei der Einführung von GigE Vision ist das Schaffen einer GigE-Version, welche den Anforderungen der Machine-Vision-Industrie gerecht wird. Eines der Branchenziele besteht in der Möglichkeit zur Kombination und Abstimmung von Komponenten unterschiedlicher, den Standard erfüllender Hersteller. Ein weiteres sind relativ kostengünstige Zubehörteile wie Verkabelungen, Schalter und Netzwerkkarten (NICs) sowie – im Bedarfsfall – der Einsatz von verhältnismäßig langen Kabeln.

Der Standard GigE Vision basiert auf UDP/IP und setzt sich aus vier Hauptelementen zusammen:

- Aus einem Mechanismus, welcher es der Anwendung ermöglicht, Geräte zu erkennen und aufzuzählen, und der festlegt, auf welche Weise die Geräte eine gültige IP-Adresse erhalten
- Dem GigE Vision Control Protocol (GVCP), das die Konfiguration der erkannten Geräte ermöglicht und die Übertragungszuverlässigkeit garantiert
- Dem GigE Vision Streaming Protocol (GVSP), über das Anwendungen Informationen von Geräten erhalten
- Systemstartregister, die das Gerät identifizieren (aktuelle IP-Adresse, Seriennummer, Hersteller usw.).

Mit den GigE-Kapazitäten und der entsprechenden Software benötigt ein IR-Machine-Vision-System im Gegensatz zu den früher eingesetzten Tageslichtkameras in der Regel keinen eigenen Framegrabber mehr. Im Endeffekt ist der GigE-Anschluss am PC der Framegrabber. Ältere Tageslichtkameras mit lediglich analogen Videoausgängen (NTSC und PAL) sind auf erheblich niedrigere Bildfrequenzen und auf die Beobachtung über den Video-Monitor beschränkt. Mit GigE stehen einem IR-Vision-System nicht nur höhere Bildfrequenzen zur Verfügung. Vielmehr kann es auch über erheblich größere Entfernungen fernüberwacht werden, als dies bei der lokalen Datenverarbeitung und -übertragung über USB, FireWire, CameraLink usw. der Fall wäre. Zudem sind Ethernet-Komponenten im Vergleich zu Framegrabber-Karten und zur dazugehörigen Hardware nicht teuer.

Eine GigE Vision-Kamera arbeitet in der Regel mit einer Netzwerkkarte (NIC), und es können mehrere Kameras im Netzwerk angeschlossen werden. Die von den Netzwerkkartenherstellern mitgelieferten Treiber allerdings arbeiten mit dem Windows- oder dem Linux-IP Stapelspeicher, was zu nicht vorhersehbaren Verhaltensweisen wie beispielsweise Verzögerungen bei der Datenübertragung führen kann.

Durch Einsatz von effizienteren, zweckgerichten und mit dem GigE Vision Standard kompatiblen Treibern kann der IP-Stapelspeicher umgangen werden. Die Daten auf der Kernel-Ebene des PC-Systems laufen direkt und ohne Umwege in den Speicher (DMA, Direct Memory Access). Dadurch entsteht ein in Nahezu-Echtzeit arbeitendes IR-Vision-System, bei dem fast die komplette CPU-Zeit der eigentlichen Bildverarbeitung zur Verfügung steht.

Wenn Sie sicher wissen wollen, ob eine Kamera GigE Vision-konform ist, achten Sie auf das offizielle Siegel (siehe Bild 3), das nur dann angebracht werden darf, wenn die Kamera den Vorgaben des Standards gerecht wird.

Zudem sollte eine Infrarotkamera auch die GenICam-Anforderungen erfüllen. Entwicklern erleichtert sie die Integration von Kameras in ihr IR-Vision-System. Mit dem GenICam Standard soll für alle Arten von Kameras eine allgemein gültige Programmierschnittstelle geschaffen werden. Unabhängig von der Schnittstellentechnologie (GigE Vision, Camera Link, 1394 usw.) oder von den implementierten Kamerafunktionen sollte die Anwendungsprogrammierung (API) die gleiche sein. Der GenICam Standard umfasst mehrere Module, die im Einzelnen folgende Hauptaufgaben erfüllen:

- GenApi: Kamerakonfiguration
- Standard Feature Names: empfohlene Namen und Typen für Standardmerkmale
- GenTL: Transportschicht-Schnittstelle, welche die Bilder übernimmt

Bild 3: Offizielles Markenzeichen für GigE-konforme Produkte

Zu den gemeinsamen Aufgaben in Verbindung mit Infrarotkameras

in Machine-Vision-Systemen gehören Konfigurationseinstellungen, Befehl und Steuerung, die Bildverarbeitung und das Anhängen der Temperaturmessergebnisse an den Bilddaten-Stream. GigE Vision ermöglicht die Hardware-Unabhängigkeit, während GenICam Software-Unabhängigkeit schafft. In einem System, in dem beispielsweise die Infrarotkameras beide Standards erfüllen und an ein GigE-Netzwerk angeschlossen sind, kann nahezu jedes Anwendungsprogramm einer Kamera den Befehl dazu erteilen, einen Bilder-Stream mit 60 Hz zu senden, der ohne Frequenzverlust und ohne Verlust wichtiger Daten erfasst werden kann. Diese Informationen können dann für Alarmfunktionen, Trendanalysen und für die statistische Prozesskontrolle verarbeitet werden.

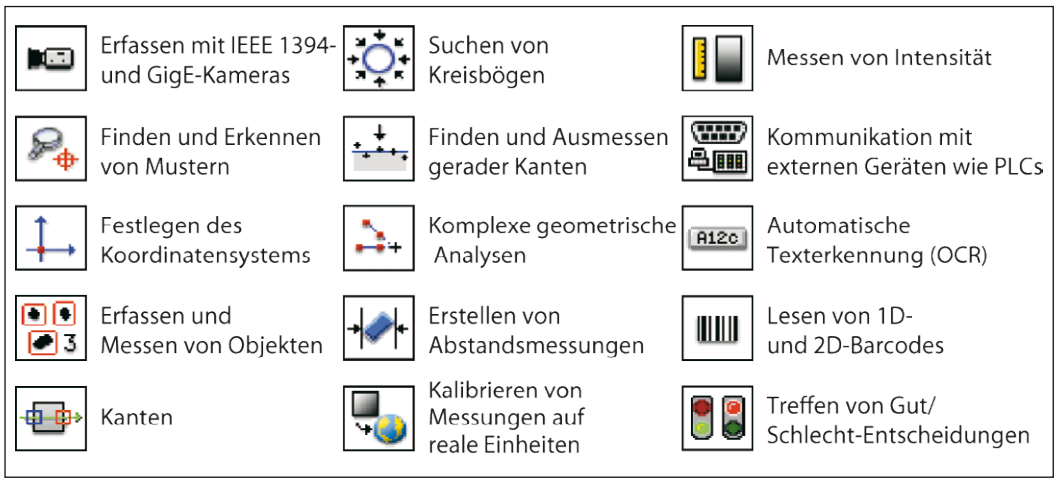

Bild 4: Beispiele für die zahlreichen Funktionen in Vision Builder für automatisierte Prüfungen

Ausbau von Anwendungen durch Software von Drittanbietern

Durch Einhaltung der vorstehend beschriebenen Standards erleichtern Hersteller von Infrarotkameras den Entwicklern die Integration ihrer Kameras in Sichtsysteme, die sich durch ein breites Funktionsspektrum auszeichnen. Zur Erleichterung der Integrationsaufgaben bieten Kameraherstellerzudem eine Vielzahl von Softwareprodukten. Zudem werden optionale Toolkits für Software-Entwickler angeboten.

Kann eine Kamera mit der Software von Drittanbietern arbeiten, erübrigt sich das Schreiben von Quellcodes oder wird auf ein Minimum reduziert. Der Vision Builder for Automated Inspection von National Instrument beispielsweise ist ein konfigurierbares Paket für den Aufbau, den Vergleich und den Einsatz von Machine-Vision-Anwendungen (Bild 5). Der Benutzer muss dazu keinen Programmcode schreiben. Eine integrierte Deployment-Schnittstelle erleichtert die Systeminstallation und bietet u.a. die Möglichkeit zur Vorgabe komplexer Pass/Fail-Entscheidungen, zur Steuerung digitaler Ein-/Ausgänge und zur Kommunikation mit seriellen oder Ethernet-Geräten wie PLCs, PCs und HMIs.

Ähnliche Funktionsmerkmale gibt es in Common Vision Blox, einem Produkt von Stemmer Imaging, das Hardware- und sprachunabhängige Tools und Bibliotheken für Bildverarbeitungsprofis umfasst. Die Einsatzmöglichkeiten von Anwendungen lassen sich erheblich ausbauen, indem man mithilfe von Drittanbieter-Software einen Großteil der Analyse-, Befehls- und Steuerungsfunktionen von der Kamera auf den PC überträgt. Eine Möglichkeit ist die Konzeption eines gemischten Kamerasystems. Dabei könnten beispielsweise Infrarotkameras zur Lieferung von Wärmebildern und Temperaturdaten verwendet werden, während Tageslichtkameras für die „Weißlicht"-Farberkennung zuständig wären.

Die Lebensmittelverarbeitung ist ein Bereich, in dem höhere Analytik mit Infrarotkameras in automatisierten Machine-Vision-Anwendungen eingesetzt wird. Ein großer Einsatzbereich, in dem Infrarot-Sichtsysteme ihre Überlegenheit zeigen, ist die hundertprozentige Prüfung gegarter Lebensmittel nach dem Austritt aus dem Durchlaufofen. Hier geht es vorrangig darum sicherzustellen, dass die Produkte durchgegart sind. Dies lässt sich mittels einer Temperaturmessung über die Kamera feststellen und ist in Bild 5 am Beispiel der Zubereitung von sogenannten Hamburger-Patties illustriert. Dabei können Messpunkte oder -flächen entsprechend der Lage der Burger beim Austritt aus dem Ofen festgelegt werden. Ist die Burger-Temperatur zu niedrig, löst die Logik des Machine-Vision-Programms nicht nur einen Alarm aus, sondern zeigt dem Arbeiter am Ofen zudem ein Bild, auf dem der aus der Produktionslinie zu nehmende Burger zu sehen ist. Wie bei anderen Anwendungen, so können auch hier Minimum-, Maximum und Durchschnittstemperatur für einzelne Burger oder aber auch das Sichtfeld als Ganzes erfasst und für Trendanalyse oder statistischer Auswertungen genutzt werden.

Bei der Produktion von Tiefkühl-Fertiggerichten kann mithilfe eines IR-Machine-Vision-Systems und einer Software zur Erkennung von Temperaturmustern die ordnungsgemäße Bestückung der Lebensmittelbehälter überprüft werden. In ähnlicher Weise ist eine hundertprozentige Prüfung der wärmeversiegelten Zellophanumhüllung des Fertiggerichts möglich. Als Zusatzfunktion käme eine Lasermarkierung mangelhafter Erzeugnisse in Frage, damit diese dann an der Prüfstation ausgesondert werden können.

Fazit

Für IR-Machine-Vision-Systeme und Temperaturmessungen gibt es unendlich viele Einsatzmöglichkeiten in automatisierten Prozessen. In vielen Fällen liefern sie Bilder und Informationen, die mit Tageslichtkameras nicht möglich wären. Darüber hinaus können sie Tageslichtbilder ergänzen, wo diese vorgegeben sind.

Infrarotkameras liefern beispielsweise Streams digitalisierter Infrarot-Bilder in hoher Bildfrequenz für Prozesse, die mit relativ hoher Geschwindigkeit ablaufen. Die Daten können über GigE-Netzwerke an entfernte Orte übertragen werden. Bei Einhaltung der Standards GigE Vision und GenICam können solche Kameras mit einer Vielzahl gleichermaßen konformer Geräte integriert und durch ein breites Spektrum an Software von Drittanbietern unterstützt werden. Dank Funk- und Glasfaserkabeladaptern können diese Kameras nahezu überall eingesetzt werden, auch über große Entfernungen. ◄

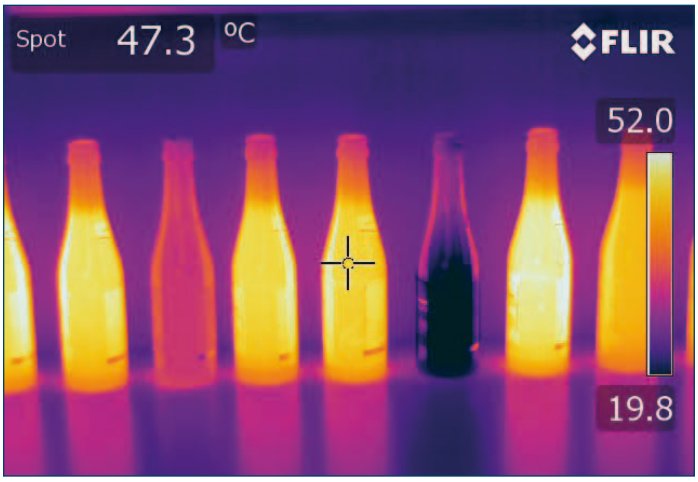

Bild 5: IR-Machine-Vision-Bild aus der Prüfung von Flaschen durch Temperaturmessung