

Von analog zu digital

Digitaltechnologie – die Zukunft in industrieller elektronischer Bildverarbeitung

Analogkameras beherrschten die frühen Jahre der Bildverarbeitung in industriellen Anwendungen und lieferten ausreichende Leistung bei einfacher Bedienerführung und mäßigen Preisen. Fortschritte in der technischen Entwicklung haben jedoch dazu geführt, dass für viele neue, aber auch bestehende Anwendungen Digitalkameras beliebter werden. Fallende Preise, standardisierte Schnittstellen und die Möglichkeiten einer auf den Anwender zugeschnittenen Vorverarbeitung sind die treibenden Kräfte für den problemlosen und gewinnbringenden Wechsel von analoger zu digitaler Technologie.

In den Kinderjahren industrieller Bildverarbeitung gab es nur Videokameras, die für das Fernsehen entwickelt worden waren. Diese alten Kameras produzierten ein Analogsignal mit einer festen Anzahl von 30 Bildern/Sekunde und einer begrenzten Auflösung. Sie waren weder für den direkten Anschluss an einen Computer noch für die Verwendung in einer Art von Überwachungsschleife konzipiert. Für ihren Einsatz in industrieller Bildverarbeitung mussten die Systeme mit einem integrierten Digitalisierer und Framegrabber ausgestattet werden, um

die Videodaten für eine weitere Bearbeitung umzuwandeln und zu speichern.

Der Aufbau eines Bildverarbeitungssystems mit Analogkamera besteht demnach aus drei Elementen (Abb. 1). Die Kamera liefert ein einfaches Analogsignal, das üblicherweise die Norm RS-170 erfüllt und über ein gewöhnliches Koaxialkabel zum Framegrabber übertragen wird. Dieser wiederum verwendet einen internen Digitalisierer für die Konvertierung des Analogsignals in Pixel und die folgende Datenspeicherung. Eine Bildverarbeitungskomponente – heutzutage

gewöhnlich ein PC – übernimmt die Daten aus dem Framegrabber für Bearbeitung und Darstellung. Da es sich bei Framegrabber und Bildverarbeitungsgesamt um unabhängige Systemelemente handelt, ist deren Programmierung nicht automatisch koordiniert.

Die Verwendung eines externen Digitalisierers mit einer Analogkamera hat Konsequenzen, die sich erschwerend auf die Bildverarbeitung auswirken. Dazu gehört die Ambiguität in der Beziehung zwischen dem physikalischen Ort, den ein digitaler Abtastwert repräsentiert und dem Ort des entsprechenden Pixels im digitalen Bild. Der Abtasttakt des Digitalisierers und der Zeilensignallauf der Kamera müssen koordiniert und wiederholbar sein, damit die Ergebnispixel ein räumlich korrektes Bild liefern können. Synchronisierungsfehler oder Flackern im Abtasttakt wer-

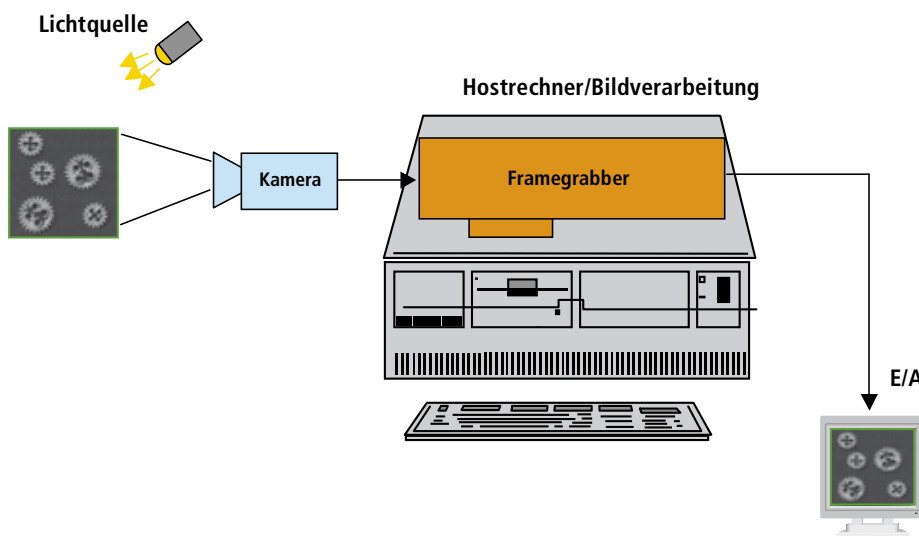


Abb. 1: Industrielle Bildverarbeitungssysteme auf der Basis einer Analogkamera haben zwar eine einfache Kameraschnittstelle, brauchen jedoch einen Signal-Digitalisierer, einen Framegrabber für die Bildspeicherung und eine spezielle Schnittstellenkarte für den angeschlossenen PC

den Bildpixel produzieren, die von ihrem wahren Ort versetzt sind (Abb. 2).

Externe Digitalisierung kann auch dazu führen, dass die horizontale und vertikale Auflösung des Bildes voneinander abweichen. Die Zeilenfrequenz der Analogkamera bestimmt die vertikale Auflösung des Bildes während die Abtastfrequenz des Digitalisierers die horizontale Auflösung diktiert. Wird der Digitalisierer nicht sorgfältig mit der Zeilenfrequenz abgestimmt, werden die Bildpixel nicht jene Quadratbereichsabtastung repräsentieren, die von den Algorithmen der Bildverarbeitung vorausgesetzt werden. Eine Abstimmung für Quadratpixel bindet jedoch die Abtastfrequenz zur Zeilenauflösung der Kamera.

Digitalkameras weisen ein völlig anderes Verhalten auf. Alle Licht aufnehmenden Bereiche eines digitalen Sensors werden individuell und ohne Abhängigkeit von einer gesteuerten Auslösefolge digitalisiert – damit entfällt die Notwendigkeit einer Synchronisierung und ein Flackern in der Auslösefolge resultiert nicht in einer räumlichen Verzerrung. Diese Zeitunabhängigkeit führt dazu, dass ausschließlich die physikalische Konstruktion des Sensors sowohl die horizontale wie auch die vertikale Auflösung vorgibt und die Bildpixel inhärent quadratisch sind. Gleichzeitig ist auch die Frequenz der Bildübermittlung aus der Digitalkamera prinzipiell unabhängig von der Bildauflösung. Die einzige Vorgabe an die Frequenz ist, dass die Pixelübertragungsfrequenz so hoch sein muss, dass das ganze Bild in der Einzelbildzeit übertragen wird. Aber auch dies ist keine zwingende Vorschrift; Digitalkameras können so konfiguriert werden, dass sie nur einen definierten Bereich innerhalb des Abbilds übertragen und so die Vorgaben an die Pixelübertragungsfrequenz verringern.

Vereinfachung der Digitalschnittstellen

Da die Daten aus der Kamera bereits digital sind, ist die Schnittstelle zu den anderen Komponenten des Bilderfassungssystems notwendigerweise etwas komplexer als solche für Analogkameras. Bei der Ausführung früherer Generationen von Digitalkameras wurden systemgebundene Hochgeschwindigkeitsschnittstellen mit Niederspannung-Differenzialsignalisierung (LVDS) verwendet. Diese erforderte groß ausgelegte, sperrige und teure Kabel, deren beschränkte Länge die zulässige Entfernung zum Framegrabber oder Bearbeitungssystem definierte. Da die Kameraschnittstellen sys-

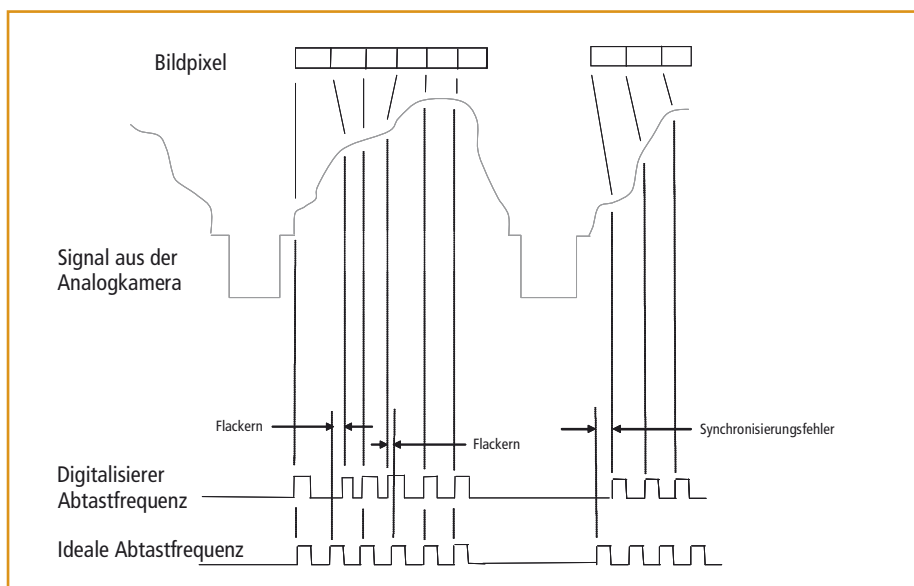


Abb. 2: Da analoge Kamerasysteme einen externen Digitalisierer verwenden, ist die eindeutige Zuordnung zwischen Pixeln und physikalischen Orten von einer synchronisierten und konsistenten Taktung abhängig, um eine räumliche Verzerrung im Abbild zu vermeiden

temgebunden waren, mussten Systementwickler sicherstellen, dass die zu verwendenden Schnittstellen zum Framegrabber oder Bearbeitungsgerät und der Kamera passten. In der praktischen Anwendung bedeutete dies, dass häufig beide Elemente aus Gründen der Kompatibilität vom gleichen Hersteller beschafft werden mussten.

Im letzten Jahrzehnt konnte jedoch ein Wandel beobachtet werden. Moderne Digitalkameras sind nun mit verbesserten Schnittstellen ausgestattet, die den Systemaufbau vereinfachen. Außerdem verfügen sie über leistungsgesteigerte Bildsensoren, die zu weitaus höheren Geschwindigkeiten und Auflösungen als herkömmliche Analogkameras fähig sind. Das Leistungsmerkmal „digital“ der Sensoren hat es auch möglich gemacht, in die Kamera Funktionen über die reine Bildaufnahme hinaus zu integrieren, was zu erhöhter Flexibilität in der Systemkonstruktion führte.

Eine der ersten Entwicklungen bei Digitalkameras war die Einführung standardmäßiger Systemschnittstellen. Die ursprünglich systemgebundenen Digitalschnittstellen beschränkten die Entwickler auf spezifische Kamera-System-Kombinationen. Das Aufkommen genormter Schnittstellen gab Entwicklern die Freiheit, Komponenten unterschiedlicher Lieferanten zu kombinieren, um exakte Systemanforderungen zu realisieren.

CameraLink war eine der ersten genormten Schnittstellen für Digitalkameras. Im Jahr 2000 zum ersten Mal veröffentlicht, standardisierte CameraLink den Steckeranschluss und die elektri-

schon Signalmerkmale für das Schnittstellenkabel. Auch wenn dieses Kabel immer noch sperrig und teuer war, hatte es den großen Vorteil aus 26 Einzeldrähten für die Übertragung paralleler digitaler Bit- und Steuerungssignale zu bestehen. Auch dieses Kabel hatte eine relativ begrenzte Reichweite von maximal 10 m Länge im Vergleich zu den 100 m Reichweite des analogen RS-170.

Seit kurzem werden nun serielle Digitalkameraschnittstellen mit Hochgeschwindigkeit angeboten, wie etwa FireWire und Gigabit Ethernet (GigE). Dieser Trend zu seriellen Hochgeschwindigkeits-Schnittstellen bietet mehrere Vorteile, die die Beschränkungen von CameraLink überwinden. Dazu gehört einmal, dass die Komplexität und Kosten des Kabels beträchtlich reduziert werden konnten. Ein CameraLink-Kabel von 10 m Länge ist mit einem großen, mehrstiftigen Stecker ausgestattet und kostet etwa 250 Dollar. Ein GigE-Kabel andererseits, das als Koaxialkabel der Kategorie 5 ausgebildet ist, kostet etwa 15 Dollar.

Von den beiden seriellen Schnittstellen hat sich GigE als die zukunftsträchtigste herausgestellt. Da die Elektronikbranche überwiegend Ethernet verwendet, ist GigE für industrielle Bildverarbeitungssysteme weitreichend bekannt und unterstützt, wohingegen Sachkenntnis und Unterstützung von FireWire etwas eingeschränkter ist. Ein Indiz für die unterschiedlichen Unterstützungsniveaus ist es, dass FireWire immer noch eine Spezialschnittstelle ist; Ethernet hingegen ist nun eine Standardschnittstelle in fast allen neuen PCs.



Abb. 3: Diese Sägemühle verwendet ein optisches Erkennungssystem bei der Entscheidung über die Aufteilung von Schnittholz in fehlerlose Standardlängen bei gleichzeitiger Maximierung verwertbaren Materials (mit freundlicher Genehmigung von Comact)

Ein weiterer Vorteil von GigE gegenüber FireWire ist die mögliche Kabellänge. FireWire ist immer noch auf 10 m begrenzt, GigE jedoch ist als Schnittstellenstandard für den Netzbetrieb praktisch unbeschränkt. Eine Kamera mit einer GigE-Schnittstelle kann als Komponente eines industriellen Bildverarbeitungssystems am anderen Ende der Welt arbeiten. Die Verwendung von GigE sorgt für eine elektrische Isolierung zwischen Kamera und System und profitiert von kontinuierlicher Innovation und technischer Weiterentwicklung in der Netzwerkindustrie.

Die Entwicklung normierter Kamera-Hardwareschnittstellen führte vor Kurzem auch zu einer Standardisierung der Software- und Steuerungsschnittstellen. In den letzten drei Jahren wurde die Entwicklung eines allgemein gültigen Sets von Befehloptionen für Digitalkameras stark vorangetrieben, so dass Anwendungsprogramme nun von der gewählten Kamera unabhängig sind. Die Anwendungen führen standardmäßige Aufrufe an Treibern durch, die alle Datenformate oder Hardware-spezifische Diskrepanzen behandeln können.

Erweiterung der Kamerafähigkeiten

Zusätzlich zu den verbesserten System-schnittstellen wurden auch die Fähigkeiten der Bildsensoren in modernen Digitalkameras erweitert. Die besten Analogkameras auf dem Markt sind in der Auflösung auf 1 Million Pixel beschränkt, bei einer Bilderfassungsgeschwindigkeit von 20 bis 60 Einzelbildern pro Sekunde und einer Datenübertragungsgeschwindigkeit von etwa 40 MHz. Digitalkameras andererseits können problemlos 100 bis 200 Einzelbilder pro Sekunde mit einer Digitalisierungsgeschwindigkeit von bis

zu 160 MHz und Auflösungen von mehr als 10 Millionen Pixel erzielen.

Sie können auch Farbe viel einfacher und günstiger bearbeiten als Analogkameras. Bei Digitalkameras werden die drei Farbsignale (rot, grün und blau) automatisch synchronisiert und verwenden die gleiche serielle Schnittstelle wie monochrome Kameras. Analogkameras hingegen müssen drei unabhängige Signale liefern und die Synchronisierung der Digitalisierung erfordert eine akribische Handhabung im Framegrabber. Ein zusammengesetztes Farbvideosignal, das nur ein einziges Kabel braucht, ist technisch zwar machbar, resultiert jedoch in reduzierter Auflösung und Farbtreue.

Eine der jüngsten Innovationen im Bereich Digitalkameras ist die Möglichkeit der Bildvorverarbeitung in der Kamera. Ein vorverarbeitetes Videosignal hat noch die Datenstruktur eines Bildes, der Dateninhalt jedoch wurde verändert. Die Vielfalt der Änderungsmöglichkeiten innerhalb der Kamera ist noch nicht ausgeschöpft. So kann beispielsweise eine Digitalkamera problemlos einen Zeitstempel auf jedes Einzelbild aufbringen, indem ausgewählte Daten mit schwarzen oder weißen Pixeln ersetzt werden, die auf dem angezeigten Bild numerische Zeichen bilden. Weitere Möglichkeiten sind etwa eine horizontale oder vertikale Spiegelung des Bilds, Datenfilterung mit definierten Schwellwerten oder Verstärkerregelung für eine Kontrasterhöhung. Viele dieser Aufgaben können bei analogen Formaten nur schwer oder überhaupt nicht realisiert werden.

Eine Nebenwirkung der Vorverarbeitung innerhalb der Kamera ist es, dass Systemschnittstellen oder die Hardware-Auslegung davon unberührt bleiben. Die Kamera kann ihre Vorverarbeitung ausführen, indem sie die Sensordaten durch

ein FPGA für die Manipulation leitet, bevor sie in die weitere Anlage transferiert werden. Aus der Sicht des Systemkonstruktors ist die Interpretation der eingehenden Daten der einzige Unterschied. In vielen Fällen kann die Vorverarbeitung Aufgaben erledigen, die ansonsten durch die Bildbearbeitung vorgenommen werden müssten, und so für eine Reduzierung der Bearbeitungsanforderungen und gleichzeitige Steigerung der Systemleistung sorgen.

Ein Ergebnis dieser Innovationen und der prinzipiellen digitalen Natur der Bilddaten ist, dass Digitalkameras eine unvergleichlich größere Flexibilität in der Konstruktion und eine deutliche Vereinfachung des Systemdesigns ermöglichen als Analogkameras. Indem gesichert ist, dass die Pixel automatisch quadratisch sind und zuverlässig den gleichen Punkt auf dem Bild in jedem Einzelbild abbilden, müssen Digitalkameras nicht wie ihre analogen Gegenstücke für die Digitalisierung kalibriert werden. Und Digitalkameras können den Weiß-Abgleich automatisch kalibrieren, während in analogen Systemen sowohl die Kamera wie auch der Framegrabber manuell kalibriert werden müssen.

Der Einsatz digitaler Kameras vereinfacht die Systemkonstruktion, da eine unkomplizierte Implementierung unterschiedlicher Konfigurationsoptionen unterstützt wird. Wird etwa die Bildauflösung in einem analogen Bildverarbeitungssystem geändert, müssen auch die Auslösungszeiten im Framegrabber und die Zyklusgeschwindigkeit des Digitalisierers geändert werden. Um das System für eine neue Kamera zu rekalisieren und resynchronisieren, braucht man viel Erfahrung mit dem Framegrabber. Um andererseits die Auflösung des Digitalisierers zu verändern, muss nur die Kamera ausgetauscht und die Datenzyklusgeschwindigkeit geändert werden; möglicherweise ist auch eine leichte Justierung der Software für die neue Datenstruktur angesagt. Das System selbst kann problemlos so konstruiert werden, dass es sich automatisch an die neue Kameraauflösung angleicht. Diese Vereinfachung erlaubt die Entwicklung digitaler Kameraserien, wie etwa die Genie-Serie von Dalsa, die innerhalb eines Systems austauschbar sind, so dass der Anwender nur die Kamera auswechseln muss, wenn sich die Anforderungen an das System ändern.

Digitalkamerasysteme können leichter installiert und gewartet werden. Analogsysteme benötigen eine Koordination zwischen Kamera und Framegrabber, die

jeweils unabhängig gesteuert werden; alle Komponenten eines digitalen Kamerasystems können jedoch über den für die Bildverarbeitung eingesetzten PC gesteuert werden. Und diese Steuerung kann in einem anwenderfreundlichen Grafikformat implementiert werden, so dass nur wenig oder gar kein Vorwissen über das System für seine Konfiguration oder Betriebserhaltung benötigt wird.

Digital spart Kosten

All die Vorteile digitaler Kameras mit GigE-Schnittstellen für die Anwendung in industriellen Bildverarbeitungssystemen führen dazu, dass sie beim Design neuer Systeme die beliebtesten Komponenten sind, trotz ihrem um etwa 20% höheren Preis im Vergleich zu Analogkameras, vorausgesetzt dass Analogkameras mit entsprechender Leistung existieren. Digitalkameras sind aber auch die logische Lösung bei der Modernisierung existierender optischer Erkennungssysteme. Auch wenn viele Altanlagen mit Analogkameras nie die hohe Performance erfordert, wie sie von Digitalkameras geliefert wird, ist Leistung trotzdem nicht das einzige Argument für eine Aufrüstung.

Verschiedene Ereignisse können die Investition in den Austausch eines analogen Systems mit einem digitalen gerechtfertigen. Zum einen können sich die Anforderungen an das System so ändern, dass Analogsysteme sie nicht mehr problemlos handhaben können. Muss etwa der Durchsatz durch ein optisches Prüfsystem gesteigert werden, kann es sein, dass die erforderliche Einzelbildlaufgeschwindigkeit den Bereich analoger Kameras übersteigt. Ein neu auftretendes Erfordernis von Farbbildern kann auch zu einer Umstellung in die digitale Welt führen, da sie hier weitaus einfacher ist und weniger Kalibrierung erfordert.

Der Ersatz ausgefallener oder überalterter Komponenten ist ein weiteres Ereignis, das eine Umstellung zur Folge haben kann. Die meisten Neuentwicklungen in der Elektronik konzentrieren sich auf Digitalsysteme und es kann schwierig sein, einen Ersatz für eine überholte Analogkamera mit gleichwertiger oder sogar höherer Leistung zu finden. Neue Investitionen werden im Bereich analoger Kameratechnik nur sehr bedingt vorgenommen.

Auch die Kosten und Schwierigkeiten, die bei der Wartung eines analogen optischen Systems entstehen, können einen Austausch gerechtfertigen. Analogsysteme benötigen Framegrabber und spe-

zielle Schnittstellenkarten auf dem Hostrechner, damit dieser Daten aus dem Framegrabber importieren kann. Bei Digitalsystemen entfällt der Framegrabber. Die Daten können sowohl in der Kamera wie auch auf dem PC gespeichert werden. Und bei GigE ist die Kameraschnittstelle bereits in jedem handelsüblichen PC vorhanden, so dass die Notwendigkeit spezieller Hardware entfällt. Die Kostenersparnis bei den anderen Systemkomponenten wägt die höheren Kosten für die Kameras leicht auf.

Umrüstung von analog zu digital

Das Beispiel der Firma Comact und ihres Holzprüfungssystems beleuchtet die Vorteile der Umrüstung eines existierenden optischen Erkennungssystems von analog zu digital. Comact setzt bei der Inspektion seines Rohholzes auf Astknorren und andere Defekte auf mehrere Kameras, die das Holz passieren muss, bevor es in einer Sägevorrichtung in Normlängen geschnitten wird (Abb. 3). Das optische Erkennungssystem bestimmt, welche Sägen wann aktiviert werden, um maximale Längen fehlerfreier Holzstücke nach dem Schnitt zu erhalten. In der analogen Anlage brauchte jede Kamera ihren eigenen Framegrabber und Bildverarbeiter und die Verarbeitungssysteme mussten ihre Ergebnisse kombinieren, um eine Schnittentscheidung zu fällen. Nachdem die Analogkameras mit digitalen ersetzt wurden, konnte Comact die Kameras als Netzwerk zusammenschließen und ein einziger Bildverarbeiter fällt alle Entscheidungen. Das System wurde so nicht nur kostengünstiger und einfacher, auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Mühle Rohholz verarbeiten kann, stieg an.

Eine solche Geschwindigkeitssteigerung kann die Umrüstung auf ein digitales System auch einzig auf der Basis reduzierter Betriebskosten gerechtfertigen. Bei der Produktion ist Zeit Geld und je höher der Durchsatz von Komponenten pro Zeiteinheit ist, desto niedriger sind die Stückkosten. Je schneller ein optisches Prüfsystem Bilder von Komponenten in der Fertigungsstraße aufzeichnen kann (d.h., je höher die Einzelbildgeschwindigkeit des Systems), desto niedriger liegt der Anteil des Prüfsystems an den Produktionskosten. Digitale Kamerasysteme können Einzelbildgeschwindigkeiten liefern, die zwei- bis viermal so hoch wie die analogen Systeme sind.

Ein weiteres Argument für den Wechsel von analog zu digital ist die damit verbundene Befähigung, den Kamerabe-

trieb mit spezifisch angepasster Vorverarbeitung zu potenzieren. Diese Vorverarbeitung kann aus einzelnen wertschöpfenden Elementen der Leistungen des optischen Systems bestehen oder in der Übernahme individueller Bildverarbeitungsaufgaben, wodurch der Hostrechner über mehr freie Kapazitäten für andere Aufgaben verfügt. So verstärkte Digitalkameras bieten Entwicklern die Möglichkeit, entweder die Anforderungen (und damit Kosten) an die Leistungsfähigkeit des Hostrechners zu reduzieren oder die Systemfähigkeit ohne die Notwendigkeit eines neuen Rechners zu steigern.

Viele der Wesensmerkmale einer Digitalkamera, die zu solchen Kosten- und Leistungsvorteilen führen, wurden erst in den letzten wenigen Jahren entwickelt und sind die wichtigsten Argumente für eine Umrüstung von analog auf digital. Die neuen Schnittstellen-Standards und die technologischen Verbesserungen haben dazu geführt, dass Digitalkameras kostengünstiger, einfacher in der Handhabung und viel leistungsfähiger als ihre Vorgängergenerationen geworden sind. Die Verwendung von Digitalkameras bei der Konstruktion neuer Systeme oder der Umrüstung existierender Analogsysteme zahlt sich aus: mit gesteigerter Systemflexibilität und der Möglichkeit, neue Funktionalitäten in das System zu integrieren.

Die verfügbaren Optionen und flexiblen Lösungen können die Wahl der richtigen Kamera zur Qual machen. Dalsa steht Entwicklern mit einer großen Produktpalette zur Seite, sowie mit langjähriger Erfahrung in der Bestimmung der best geeigneten Kameras für die jeweiligen Anwendungsanforderungen. Mit der richtigen Kamera ausgestattet, können optische Erkennungssysteme zur Produktionssteigerung, Wartungsvereinfachung und Gesamtkostenreduzierung beitragen.

► **Autor**
Yvon Bouchard, Direktor
für Systemarchitektur
(Director Systems Architecture)



► **Kontakt**
Dalsa, Montreal, Kanada
Tel.: 001/514/333-1301
Fax: 001/514/333-1388
info@dalsa.com
www.dalsa.com