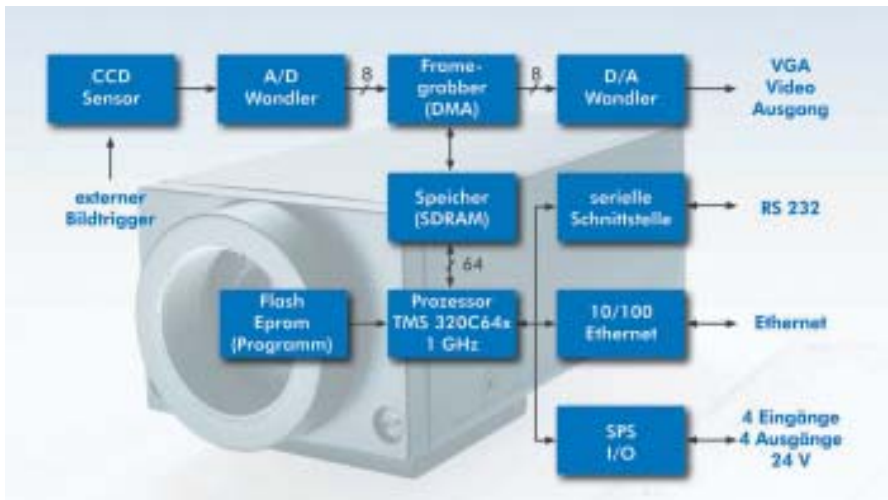


Aufbau und Anwendungen von Smart Kameras

Druckbildkontrolle mit Hochgeschwindigkeit

Während bis vor einigen Jahren vorwiegend PC-Systeme für Anwendungen der industriellen Bildverarbeitung eingesetzt wurden, werden diese Aufgaben zunehmend von intelligenten Smart Kameras wahrgenommen. Äußerlich fast nicht von konventionellen Industriekameras ohne Intelligenz zu unterscheiden, beinhalten diese Systeme neben dem CCD-Sensor alle wesentlichen Funktionen, wie Framegrabber, Bildspeicher, einen schnellen Prozessor (DSP), sowie alle erforderlichen Schnittstellen zur Kommunikation mit dem Prozess und der Außenwelt.



Blockdiagramm der VC44xx Smart Kameras von Vision Components

Die grundlegende Idee bei der Entwicklung der intelligenten Kamera war die Überlegung, dass es bei entsprechender Miniaturisierung möglich sein müsste, nicht nur die Elektronik zur Ansteuerung des Bildsensors sondern zusätzlich einen kompletten embedded Computer, nebst Framegrabber und Prozess-Schnittstellen im gleichen Gehäuse unterzubringen. So wurde von Vision Components, Ettlingen vor zehn Jahren die erste intelligente Kamera, die VC11, entwickelt. Die mittlerweile in der dritten Generation lieferbaren Smart Kameras haben sich nur wenig von diesem Bauprinzip entfernt. Aller-



Mit Abmessungen von 120 x 50 x 36 mm etwa so groß wie ein Handy verfügt die VC4466 über einen 1-GHz-DSP von TI mit 8000 Mips

dings hat sich die Leistungsfähigkeit der verwendeten Prozessoren in der Zwischenzeit vervielfacht.

Als Bildsensoren werden meist hochwertige CCD-Sensoren eingesetzt. Einige Hersteller verwenden aus Kostengründen preiswerte CMOS-Sensoren, die sich jedoch in vielen Applikationen als unzulänglich erwiesen haben. Als Standardauflösung hat sich die VGA-Auflösung (640 x 480 Pixel) durchgesetzt. Für höhere Anforderungen an die Bildauflösung gibt es Sensoren mit bis zu 2 Megapixel (1600 x 1200 Pixel). Ein besonderes Merkmal von

Smart Kameras kommen überall dort zum Einsatz, wo Inspektionsaufgaben kostengünstig und mit geringem Einbauvolumen durchgeführt werden sollen. Typisch ist der Einbau als OEM-Produkt im Maschinenbau, z.B. um eine Qualitätskontrolle in die Maschine zu integrieren. Häufige Anwendungsbereiche sind: industrielle Fertigungsprozesse, Qualitäts- und Vollständigkeitskontrolle, Messtechnik, Kontrolle von Befüllungen, Verpackungen und Blistern, Lesen von 1D- und 2D-Codes, und OCR, Verifikation von Datumscode und Chargennummer sowie 3D-Vermessung mit Lasertriangulation.

PRAXIS PLUS

Smart Kameras kommen überall dort zum Einsatz, wo Inspektionsaufgaben kostengünstig und mit geringem Einbauvolumen durchgeführt werden sollen. Typisch ist der Einbau als OEM-Produkt im Maschinenbau, z.B. um eine Qualitätskontrolle in die Maschine zu integrieren. Häufige Anwendungsbereiche sind: industrielle Fertigungsprozesse, Qualitäts- und Vollständigkeitskontrolle, Messtechnik, Kontrolle von Befüllungen, Verpackungen und Blistern, Lesen von 1D- und 2D-Codes, und OCR, Verifikation von Datumscode und Chargennummer sowie 3D-Vermessung mit Lasertriangulation.

CCD-Sensoren ist der elektronische Kurzzeitverschluss. Damit ist es möglich „Schnappschüsse“ mit Belichtungszeiten bis hinunter zu einigen Mikrosekunden einzufrieren. Eine Anwendung hiervon ist zum Beispiel die Vermessung winzig kleiner Marken bei Geschwindigkeiten von bis zu 10 m/s in der Druckindustrie.

DSP mit 1 GHz Taktrate erreicht 8000 Mips

Die Daten aus dem Sensor werden dann digitalisiert und per DMA (Direct Memory Access) im Hauptspeicher (SDRAM) abgelegt. Dabei genügt in der Regel eine Digitalisierungstiefe von „sauberen“ 8 bit. Der eigentliche Clou ist die Verarbeitungseinheit: Für die Verarbeitung der Bilddaten steht ein Signalprozessor (DSP) der höchsten Leistungsklasse zur Verfügung, ein TMS320C64xx von Texas Instruments. Bei 1 GHz Taktrate werden wegen der acht gleichzeitig ausgeführten Operationen 8000 Mips erreicht. Eine derart massive Rechenleistung ist erforderlich, weil in der Bildverarbeitung riesige Datenmengen verarbei-

DER AUTOR



Michael Engel ist Inhaber und Geschäftsführer der Vision Components GmbH in Ettlingen (www.vision-components.de)



Demonstrationsanlage zur Passermarken-Vermessung in der Druckindustrie



Nahaufnahme der verwendeten Passermarken auf dem Laufrad, das die Marken auf bis zu 10 m/s beschleunigen kann

tet werden müssen bei Taktzeiten von typisch 0,1 bis 1 s pro Teil. Auch ist die Entwicklung leistungsstarker – aber rechenhungriger – Software-Algorithmen noch lange nicht am Ende. Für die Bildverarbeitung ist daher immer das schnellste System gerade gut genug. Der schnellste Prozessor nützt nichts, wenn er die Ergebnisse seiner Berechnungen nicht der Außenwelt mitteilen kann. Zu diesem Zweck dienen je vier Ein- und Ausgänge mit 24-V-Pegel, zum Anschluss von beispielsweise Lichtschranken, SPS-Signalen oder Pneumatikventilen. Größere Datenmengen können über eine TCP/IP-fähige Ethernet-Schnittstelle übertragen werden. Hiermit ist zum Beispiel die Übertragung von Bildern zur komfortableren Bedienung oder zur Dokumentationszwecken an einen Leitrechner möglich. Das Ethernet kann aber auch zur Erweiterung der I/O-Möglichkeiten dienen. Die intelligente Kamera kann auf diese Weise die Aufgabe einer SPS völlig mitübernehmen. Pa-

rametrierung der Smart Kameras über HTTP-Browser, Fernwartung und Abruf von Statistiken über FTP sind weitere Beispiele der zahlreichen Möglichkeiten, die aufgrund dieses zukunftsweisenden Kommunikationsstandards möglich sind.

Eine Smart Kamera, die Bilder aufnehmen und autonom auswerten kann, braucht eigentlich keinen Monitoranschluss zur Darstellung der Bilder. Ein solcher ist allerdings bei der Installation und der Fehlerdiagnose sehr praktisch. So kann zum Beispiel bei laufender Produktion immer das letzte abgespeicherte Bild eines fehlerhaften Produkts angezeigt werden. Damit können wertvolle Hinweise auf Schwachstellen in der Produktion gewonnen werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Bedienung der Software über ein auf dem Monitor angezeigtes Menü mit Hilfe eines optional anschließbaren Keypads.

Steuerung aller Funktionen über Echtzeit-Betriebssystem

Alle Funktionen der Smart Kamera werden durch das Linux-ähnliche Echtzeit-Betriebssystem VCRT gesteuert. Über die integrierte Shell lassen sich alle Kamerafunktionen bedienen; es ist aber natürlich auch möglich, Dateioperationen durchführen, Programme ausführen oder TCP/IP-Statistiken abrufen. Das Dateisystem ist stromausfallgesichert, zum Herunterfahren wird einfach der Strom ausgeschaltet. Inklusiv aller Systemtests bootet VCRT innerhalb von 3 s.

VC Smart Kameras sind völlig frei programmierbar in den Programmiersprachen C und C++. Die Programmentwicklung erfolgt mit einer integrierten Entwicklungsumgebung (IDE) auf dem PC. Das fertige Programm wird per FTP auf die Smart Kamera übertragen und dort ausgetestet. Das Debugging kann recht einfach mit einem in die IDE integrierten Hardware-Emulator erfolgen. Zum Einstieg werden Schulungsseminare und Internet-Tutorials angeboten. Dem Programmierer steht mit der VCLIB zudem eine umfangreiche und leistungsstarke Bildverarbeitungs-bibliothek zur Verfügung.

Allgemein kann fast jede Aufgabe der industriellen Bildverarbeitung mit Smart Kameras gelöst werden. Vorteilhaft für den Kunden ist oftmals die geringe Baugröße, wobei auf einen Schaltschrank verzichtet werden kann. Bei intelligenten Kameras gibt es keine wartungsanfälligen Verschleißteile wie Festplatte oder Lüfter. Auf

der anderen Seite gibt es sicher auch Anwendungen, wo ein PC ohnehin zur Verfügung steht. Hier wird der Anwender häufig zu einer Lösung mit konventionellen Kameras tendieren. In einem solchen Fall sollte aber auch überlegt werden, ob der PC nicht durch die Verwendung von Smart Kameras entlastet werden kann. Insbesondere wenn mehrere Kameras angeschlossen werden sollen, kann so unter Umständen eine erhebliche Erhöhung der Maschinentaktrate erzielt werden.

Passermarken-Erfassung in der Druckindustrie

Exemplarisch für die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten soll im folgenden eine Anwendung aus der Druckindustrie beschrieben werden. Beim Mehrfarbdruck müssen die Druckplatten für die einzelnen Farben präzise zueinander justiert werden. Andernfalls wird das Druckbild unscharf, bekommt Schatten oder wird gar völlig unleserlich. Für die Kontrolle der korrekten Justage wird zusätzlich für jede gedruckte Farbe eine Registermarke gedruckt. Die Marke kann die Form kleiner Kreuze oder Punkte haben, auch andere Formen sind gebräuchlich. Die Marken können auf einem Rand um das eigentliche Druckbild aufgedruckt werden. Es gibt aber auch besonders kleine, fast nicht sichtbare Mikromarken, die mitten im Druckbild untergebracht werden können; das spart wertvolles Papier.

Die Aufgabe der Smart Kamera liegt nun darin, die Abstände der verschiedenen Marken zueinander präzise zu vermessen. Man erreicht hier typische Genauigkeiten von 1/10 Pixel bzw. je nach Abbildungsmaßstab Werte bis unter 1 µm. Bei Abweichungen zur Sollposition wird die Lage der Druckplatten entsprechend nachgeregelt. Die besondere He-



Frontansicht der Demoanlage: Links zwei Color-Smart Kameras zur Kontrolle des Aufdrucks, daneben die Passermarken-Vermessung, ganz rechts die Verifikation eines Datumsaufdrucks



Aufnahme des an die Smart Kamera angeschlossenen VGA-Bildschirms

ausforderung bei dieser Applikation besteht in der Geschwindigkeit des Papiers, die bis zu 10 m/s betragen kann. Bei dieser Geschwindigkeit müssen nämlich dennoch gestochen scharfe Bilder geschossen werden, die noch auf den Bruchteil eines Pixels zu vermessen sind. Hier kommen die besonderen Eigenschaften des elektronischen Ultrakurzzeit-Verschlusses zum Tragen. Mit Verschlusszeiten von minimal 5 µs ist es möglich, selbst extrem schnelle Vorgänge in der Bewegung einzufrieren.

Die Triggerung der Bildaufnahme erfolgt über einen Inkrementalgeber, der mit der Transportwalze verbunden ist. Jedes Mal, wenn eine vorher eingestellte Anzahl von Impulsen detektiert wurde, wird ein Bild aufgenommen. Damit wird erreicht, dass die Marken immer an der gleichen Position im Bild erscheinen. Entscheidend ist hier, dass die Bildaufnahme jitterfrei erfolgt. Das bedeutet, dass zwischen dem Eintreffen des Triggersignals und der tatsächlichen Bildaufnahme keine noch so kleine variable Zeitverzögerung auftritt. Wegen der hohen Papiergeschwindigkeit würde dies nämlich sofort dazu führen, dass sich die Marken nicht mehr an der korrekten Position im Bildfeld befänden.

Messgenauigkeiten im Subpixel-Bereich

Die für diese Anwendung benötigten Bildverarbeitungs-Algorithmen sind recht einfach zu verstehen: Zunächst müssen die Marken im Bildfeld gesucht werden. Sehr hilfreich ist hierbei die Tatsache, dass die Lageabweichung von einem Bild zum nächsten sehr begrenzt ist; das heißt man kann das Suchfenster in der Größe beschränken. Obwohl die Druckmarken farbig sind, lassen sie sich gut mit einer Schwarz/Weiß-Kamera finden. Um die Erkennungssicherheit von Registermar-

ken in der Farbe „Gelb“ zu verbessern, kann ein zusätzliches Farbfilter vor dem Sensor eingesetzt werden, das den Kontrast für diese Farbe erhöht. Das Suchen kann im einfachsten Fall mit Binärbildverfahren erfolgen, die für jedes im Bild gefundene Objekt, also für jede Marke, die Position des Schwerpunkts liefern. Ein weiteres sowie sehr gebräuchliches und zuverlässiges Suchverfahren ist die normierte Grauwertkorrelation.

Die Suchverfahren können die Position der Marken mit etwa einem Pixel Genauigkeit bestimmen. Um die Lage noch genauer angeben zu können, werden spezielle Messverfahren eingesetzt, die im Subpixelbereich arbeiten. Bei gutem Kontrast lässt sich hierdurch leicht eine Genauigkeitssteigerung um den Faktor zehn erreichen. Noch höhere Genauigkeiten sind möglich, hängen aber von den Randbedingungen des Einzelfalls ab. Trotz der hohen Transportgeschwindigkeit liegen die Wiederholraten bei Druckmaschinen nur im mittleren Bereich. Smart Kameras mit Bildaufnahmeleistungen von 30 bis 60 Bilder/s reichen hier meist völlig aus, Bildwiederholraten von 250 Bildern/s wären technisch allerdings auch kein größeres Problem. Für diese Aufgabenstellung ist von Vision Components ein Demo-Kit erhältlich, welches neben der Smart Kamera-Hardware eine komplett funktionierende Demosoftware enthält.

eA-INFO-TIPP

Ein Einsatzgebiet für die VC Smart Kameras ist die Passermarken-Kontrolle in der Druckindustrie. Passermarken sind grafische Figuren, mit der die Passgenauigkeit der einzelnen Farben im Zusammendruck überwacht werden kann. Beim Druck werden die vier Farben cyan, magenta, gelb und schwarz (+ev. Sonderfarben) subtraktiv gemischt. Grundlegende Erklärungen zur subtraktiven Farbmischung finden sich auf den folgenden beiden Websites:

- www.metacolor.de/subtraktiv.htm
- www.ipso.fraunhofer.de/~crueger/farbe/farb-misch.html