Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 96 (2005)
Heft: 11

Artikel: Sensoren : die Sinnesorgane technischer Systeme
Autor: Lanz, Daniel / Grossmann, Hans / Gyger, Thomas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857815

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Sensoren – die Sinnesorgane technischer Systeme

Artikelserie Automation: Sensoren, inklusive Bildverarbeitung und RFID (4)

Sensoren gewinnen in praktisch allen Industriebereichen an Bedeutung. Sie geben dem technischen System Informationen über physikalische, chemische und sogar biologische Messgrössen. Die Fortschritte in der Mikroelektronik und der Mikrosystemtechnik führten in den letzten Jahren zu einem gewaltigen Entwicklungsschub – insbesondere auch bei der industriellen Bildverarbeitung und den RFID-Systemen. Bei Letzteren werden spezielle Etiketten per Funk erfasst.

Der Name Sensor stammt aus dem Lateinischen: Sensorum heisst Empfindungsvermögen, Sensus entspricht dem Sinn. Andere, ebenfalls geläufige Namen sind Messfühler, Messwandler, Geber, Transducer oder Messwertaufnehmer.

Daniel Lanz, Hans Grossmann, Thomas Gyger

Ein Vergleich der technischen Sensoren mit den menschlichen Sinnesorganen ist insofern nicht ganz treffend, als die Technik andere Messprinzipien nutzt, zudem messen Sensoren auch physikalische Grössen, die der Mensch nicht erfassen kann (siehe auch Tabelle I).

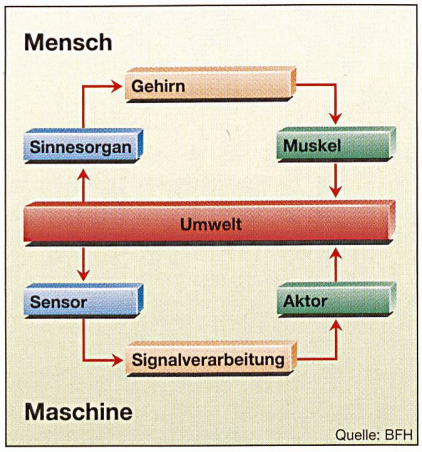

Bild 1 Vergleich Mensch–Maschine

Es sind derzeit ungefähr 2000 Messprinzipien bekannt, wovon etwa 150 wirklich genutzt werden. So kann eine Kraft verschieden gemessen werden: Mit Dehnungsmessstreifen[1)] wird die Oberflächendehnung eines Deformationskörpers erfasst, wonach mit dem Hook'schen Gesetz auf die Kraft geschlossen werden kann. Die Kraft kann aber auch mit einem Piezokristall gemessen werden: Nach dem piezo-elektrischen Effekt werden proportional zur Kraft Ladungen an der Oberfläche von Quarzkristallen verschoben. Weitere Möglichkeiten sind die induktiven und kapazitiven Messprinzipien: Hier wird die Wirkung der Kraft ebenfalls über den Deformationsweg erfasst.

Ein Sensor wandelt die zu messende (physikalische, chemische, biologische) Grösse so um, dass sie elektronisch weiterverarbeitet werden kann. Eine elektronische Weiterverarbeitung hat den Vorteil, dass durch entsprechende Signalverstärkung und Filterung eine hohe Empfindlichkeit erreicht wird, dass die Daten gespeichert werden können und dass weiterführende, komplexere Datenverarbeitungen wie statistische Analysen und Frequenzanalysen möglich sind. Ferner können elektronische Signale über weite Distanzen übertragen werden.

Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven Sensoren: Aktive Sensoren formen die mechanische, thermische oder chemische Energie direkt in elektrische Energie um, ohne zusätzliche Hilfsenergie. Beispiele sind Sensoren nach dem Piezo-, Foto- oder dem thermoelektrischen Effekt. Passive Sensoren wandeln die Messgrösse nicht direkt in elektrische Energie. Sie verändern ihre elektrischen Eigenschaften, wie den Widerstand, die Kapazität oder die Induktivität. Viele passive Sensoren können nur Wege messen, was dazu führt, dass viele Messgrössen durch konstruktive Massnahmen zuerst in ein Wegsignal überführt werden müssen, so wie die Kraft über ein Deformationselement in einen Weg umgewandelt wird.

Sensoren werden auch in der Art des Ausgangssignals unterschieden: Es gibt analoge, binäre und digitale Sensoren. Ein analoger Sensor liefert einen Widerstandswert, eine Spannung zwischen 0...10 V oder einen Strom zwischen 4...20 mA. Ein binärer Sensor, zum Beispiel eine Lichtschranke, kennt am Ausgang nur zwei logische Zustände: Ein oder Aus. Beim digitalen Sensor wird das Ausgangssignal durch eine Elektronik in einen digitalen Code gewandelt.

Konventionelle Messkette

Der Sensor muss zusammen mit der notwendigen Elektronik als System be-

Artikelserie zur Automation

Das *Bulletin SEV/VSE* veröffentlicht dieses Jahr eine Serie zur Automation. Im Monatsrhythmus erscheinen in der Electrosuisse-Ausgabe des *Bulletins SEV/VSE* folgende Artikel:

- **Einführung (Nr. 1/05)**
- **Steuerung (Nr. 3/05)**
- **Kommunikation (Nr. 7/05)**
- **Sensoren, Bildverarbeitung (Nr. 11/05)**
- **Antriebe, Regelungstechnik**
- **Software, Bedienen, Beobachten**
- **Sicherheit**

Messgrösse	Messprinzip
Kraft, Druck, Drehmoment	piezoresistiv, piezoelektrisch, kapazitiv, induktiv, magnetoelastisch, Schwingsaite
Temperatur	Ohm'scher Widerstand, Thermoelement Transistor (Bandgap), IR-Thermometer
Feuchtigkeit	kapazitiv, Taupunktspiegel
Objekterfassung (Näherungsschalter)	induktiv, kapazitiv, optisch, Ultraschall, Magnetfeld
Füllstand	kapazitiv, hydrostatisch, Ultraschall, Mikrowelle
Weg	Strichmassstäbe, induktiv, kapazitiv, Lasertriangulation, Interferometrie, radarbasiert
Geschwindigkeit	Lichtschranken, radarbasiert, Laser, Staurohr
Beschleunigung	piezoresistiv, piezoelektrisch kapazitiv

Tabelle I Eine Auswahl von Messprinzipien verschiedener Sensoren

trachtet werden. Das Sensorsystem mit dem Eingang – der Messgrösse – und dem Ausgang mit der Signalinformation kann aber nicht für alle Messgrössen eine einheitliche Systemarchitektur aufweisen. Ein Messsystem mit einem PT100-Widerstandstemperatursensor, der den Ohm'schen Widerstand in Funktion seiner Umgebungstemperatur analog verändert, kann nicht die gleiche Systemarchitektur aufweisen wie eine Lichtschranke, die mit der Erfassung eines Objektes einen binären Zustand abgibt. Eine konventionelle Messkette besteht im Minimum aus dem Sensor, der Signalaufbereitung und der Signalvisualisierung.

Der Sensor selbst kann oft in ein Primär- und ein Sekundärelement unterteilt werden, wie das Beispiel eines Luftdrucksensors zeigt (Bild 3). Eine Membrane (Primärelement) deformiert sich proportional zum Luftdruck. Die auf der Membrane aufgebrachten Messwiderstände (Dehnmessstreifen) verändern ihren Widerstandswert proportional zur Biegung der Membrane. Die Messwiderstände sind hier die Sekundärelemente, die die Messgrösse also nicht direkt, sondern mit Hilfe des Primärelementes erfassen.

In der nachgeschalteten Signalaufbereitung wird die druckabhängige Widerstandsänderung in eine elektrische Spannung umgeformt, indem die vier Dehnmessstreifen zu einer Wheatston'schen Brücke verschaltet werden. Die Brückenausgangsspannung muss verstärkt und nullpunktkorrigiert werden, um einen offsetfreien Proportionalitätsfaktor zum Luftdruck zu erhalten.

Aufgabe der Signalaufbereitung (Verstärkung, Offsetkorrektur, Linearisierung) ist es, eine vom Messprinzip und von der Fertigung bedingte Messwertabweichung zu korrigieren. Die Signalverarbeitung und Signalvisualisierung reicht von der simplen Anzeige eines Zahlenwertes über die Darstellung des zeitlichen Signalverlaufes bis hin zu aufwändigeren Verfahren, wie Frequenz- und statistische Analysen.

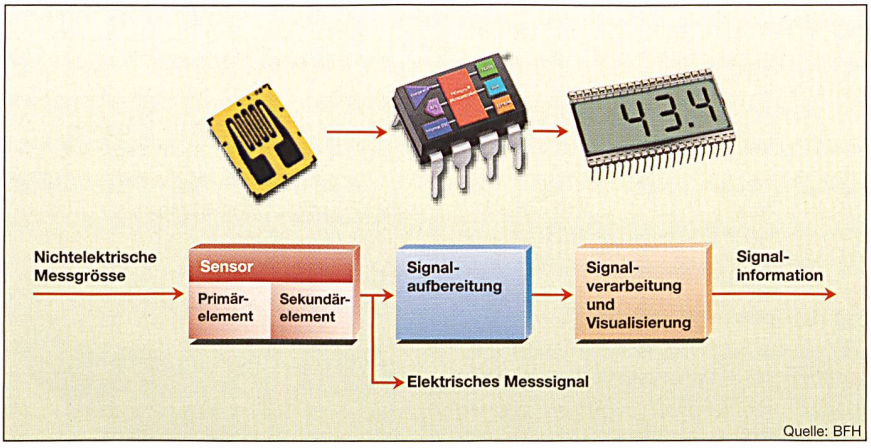

Bild 2 Konventionelle Messkette

Integrierte Elektronik

Viele Messprinzipien können auf einem Chip integriert werden. Mit der Mikrosystemtechnik lassen sich kleinste geometrische und mikromechanische Strukturen bilden. So ist es nahe liegend, die Schaltungen für die Signalaufbereitung auf demselben Chip oder zumindest im selben Sensorgehäuse unterzubringen. Das hat den Vorteil, dass am Sensorausgang standardisierte Ausgangsgrössen (0...10 V, 4...20 mA) zur Verfügung stehen.

Oft wird das analoge Signal direkt in ein digitales umgewandelt, da dieses störungssicher über lange Distanzen übertragen werden kann. Zudem können digitale Messwerte mehrerer Sensoren über ein und dieselbe Leitung übertragen werden – über einen Feldbus. Ein entscheidender Vorteil, denn es vereinfacht die Verkabelung der Sensoren: Statt von jedem Sensor ein Kabel in den Schaltschrank zu führen, wird das Feldbuskabel bei allen Sensoren vorbeigeführt. Dies ist vor allem in der Vielstellenmesstechnik vorteilhaft, wie sie in der Automation oft erforderlich wird. Voraussetzung ist, dass verschiedene Gerätehersteller eine genormte digitale Verdrahtung akzeptieren.

Modularisierung und Standardisierung

Die Fortschritte der Mikrosystemtechnik verkleinern nicht nur die Sensoren, sie beeinflussen auch den Markt. Denn die hohen Entwicklungs- und Infrastrukturkosten für die Herstellung integrierter Schaltungen lohnen sich nur bei hohen Stückzahlen. Für kleine und mittlere Firmen, die sich oft in Nischenmärkten mit kleinen Stückzahlen bewegen, eine unüberwindbaren Hürde. Doch auch für Grossfirmen wird es schwierig, kundenspezifische Anwendungen in kleinen Stückzahlen zu fertigen. Deshalb werden die Sensoren vermehrt in Modulen mit standardisierten Schnittstellen entworfen, um zumindest diese Module wieder verwenden zu können.

IEEE-1451-Standard

Vor 10 Jahren wurde in den USA der IEEE-1451-Smart-Transducer-Standard entwickelt. Etwa 40 Firmen haben sich

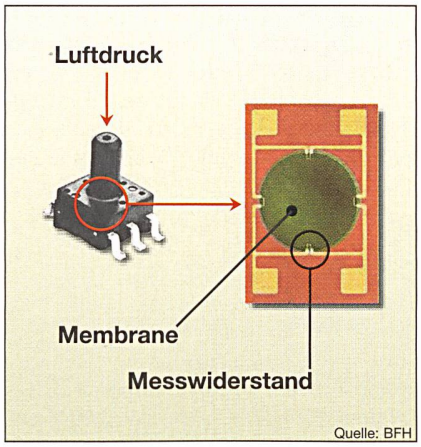

Bild 3 Primär- und Sekundärelement

daran beteiligt oder wollen ihn in ihren Produkten umsetzen. Der Standard beschreibt ein Konzept zur Integration von Messsystemen in Kommunikationsnetze. IEEE 1451 definiert hauptsächlich Protokolle und Netzwerkstrukturen. Der im Frühjahr 2004 veröffentlichte Teil IEEE 1451.4 beschreibt Messsysteme als Plug-and-Play-Komponenten, die sich selbst identifizieren und vollständig interoperabel sind.

PrimSens, der europäische Ansatz

Der deutsche AMA-Fachverband für Sensorik hat Anfang 2002 eine Nutzergruppe «Modulare Mikrosensorik» gegründet, mit dem Ziel, ein firmenübergreifendes Modulsystem für Sensoren zu definieren. Die Grundidee basiert auf einer Dreiteilung des Sensorsystems in ein Messwerterfassungsmodul (Sensor mit analoger Signalvorverarbeitung), in ein Messwertverarbeitungsmodul (Signalaufbereitung mit Digitalisierung) und in ein Modul zur Systemanbindung (Buskoppler). Über die Buskoppler-Schnittstelle werden Daten in einem geräte- und herstellerneutralen Protokoll ausgetauscht.

Sowohl das Sensor-Interface nach IEEE 1451 als auch die Buskoppel-Spezifikation des AMA-Fachverbandes basieren auf dem SPI-Bus und sind somit weit gehend kompatibel. IEEE 1451 ist aber eher für komplexe Messsysteme gedacht. Er benötigt aufwändige Hardware, die für einfache Systeme überdimensioniert und zu teuer wäre. Die Lösung von AMA zeichnet sich dadurch aus, dass sie einfacher und transparenter ist und sich somit auch für weniger umfangreiche Messsysteme eignet. Gerade solche sind weit verbreitet und werden von kleinen und mittleren Firmen eingesetzt.

Industrielle Bildverarbeitung

Die Qualität der Produkte wird immer häufiger durch Bildverarbeitung gesichert, mit der Kamera als Sensor – insbesondere bei Produktionen, die rund um die Uhr arbeiten: in der Automobilindustrie und deren Zulieferern, der Pharmaindustrie und der Medizinaltechnik, in der Elektronik- oder Lebensmittelindustrie. Visionsysteme oder intelligente Kameras erkennen die Lage der Teile, die ein Roboter greifen soll (Robot Vision); Labels und Matrixcodes werden ausgelesen, um die Produkte später rückverfolgen zu können – speziell wichtig bei Sicherheitsteilen in der Medizin und der Luftfahrtindustrie.

Die Entwicklung der industriellen Bildverarbeitung ist eng verbunden mit der Entwicklung der Computer- und Kameratechnik. In den Anfängen, die in die 70-Jahre zurückreichen, gingen wichtige Impulse von der Fernerkundung und der Kybernetik aus. Im Bereich der Fernerkundung wurden Satellitenbilder verbessert, Objekte oder die Vegetation auf Bildern erfasst. In der Kybernetik wollte man den menschlichen Gesichtssinn technisch nachbilden. Im Laufe der Entwicklung hat man jedoch erkannt, dass zwischen dem menschlichen Sehen und den technischen Möglichkeiten eine grosse Kluft herrscht. Einerseits sind technische Geräte in der Lage, quantitative Aussagen zu liefern und einen Durchmesser präzise zu vermessen oder grosse Datenmengen beliebig lange zu speichern, andererseits sind Flexibilität oder gar Lernfähigkeit begrenzt: sie taugen nur für das, wozu sie programmiert wurden. In der Folge kam man davon ab, das menschliche Sehen nachzubilden, und konzentrierte sich darauf, die Stärken der technischen Systeme zu nutzen.

Erst durch die Fortschritte in der Halbleitertechnik wurde die Bildverarbeitung wirtschaftlich. Halbleiterkameras, ursprünglich für die Videotechnik entwickelt, boten sich als robuste und kostengünstige Sensoren an. Auch die rasanten Fortschritte der PCs haben wesentlich zur Entwicklung der Bildverarbeitung beigetragen. So können die Datenmengen – eine Standardfarbkamera liefert schnell einmal ein Megabyte oder mehr – erst verarbeitet werden. Denn in der automatisierten Produktion müssen meist Zykluszeiten von einer Sekunde oder weniger eingehalten werden. Dabei gibt es viel zu berechnen. Um ein einzelnes Objekt zu erkennen oder zu prüfen, muss dieses im Bild zuerst gefunden werden. In jüngerer Zeit wurden auch in der Software spürbare Fortschritte erzielt und starke Algorithmen entwickelt.

Bild 5 Industrielle Bildverarbeitung

Die automatische Inspektion von Lötstellen und Verbindungen gehört zu den schwierigeren Aufgaben der industriellen Bildverarbeitung, ist bei einer 100%-Kontrolle jedoch nicht wegzudenken.

Bilderkennung

Ein einfacher Ansatz, um Objekte in einem Bild zu finden, beruht auf dem Einlernen eines Musters, das anschlies-

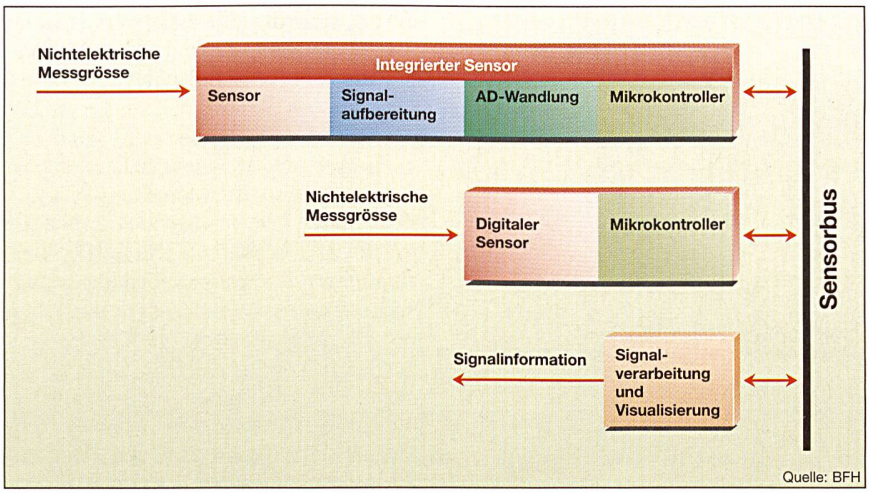

Bild 4 Integration eines Mikrokontrollers

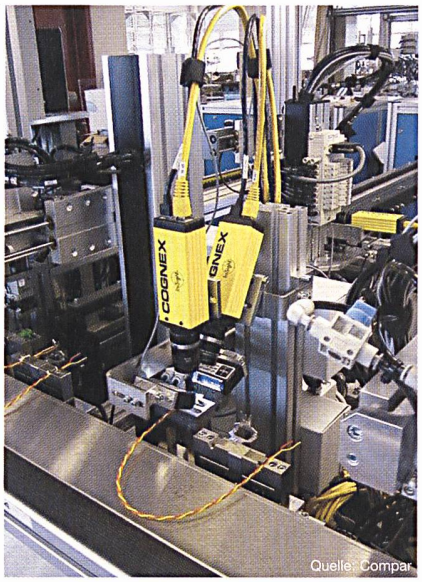

Bild 6 Intelligente Kameras

Smart Cameras verfügen über lokale Intelligenz. Visualisierung, Erfassung der Produktionsdaten und Parametrierung erfolgen über Ethernet.

send im Bild gesucht wird. Während früher Methoden wie die (zeitraubende) Grauwertkorrelation herbeigezogen wurden, steht heute das geometrische Matching im Vordergrund, das mit geometrischen Merkmalen arbeitet und auf Kontraständerungen, Verzerrungen oder teilweise Verdeckungen deutlich weniger empfindlich reagiert. Wenn ein Teil gefunden wurde, kann es anschliessend genauer analysiert werden. Dabei müssen bestimmte charakteristische Merkmale gemessen werden – und da stolpert man bereits über die erste Schwierigkeit: welche Grössen charakterisieren ein Objekt oder einen Fehler am treffendsten? Auch Kontrollpersonen bekunden häufig Mühe, wenn sie genau beschreiben sollen, nach welchen Kriterien sie etwa bei einer Oberflächenkontrolle gute und schlechte Teile unterscheiden. Ein Visionssystem liefert vorerst einmal Messwerte, welche die Basis für eine Klassifikation sind. Die Systeme müssen dann während der Inbetriebnahme oft intensiv parametriert werden. Selbstlernende Systeme sind eher ein Wunschtraum, und der Operator ist froh, wenn das System ihn bei der Parametrierung effizient unterstützt. Im Unterschied zu einfachen Sensorsignalen ist der Interpretationsspielraum von Bildern fast beliebig gross. Während ein Temperatursensor ein eindimensionales Signal (Temperatur über der Zeit) liefert und die Werte entweder innerhalb oder ausserhalb eines Toleranzbereiches liegen, muss in einem Bild zuerst definiert werden, was gemessen werden soll. Jeder Bildpunkt (auch Pixel[2]) genannt) besitzt einen Helligkeitswert, aber erst eine Gesamtheit von Bildpunkten stellt ein Objekt dar. Und dieses besitzt eine ganze Menge von Eigenschaften: Dimensionen, Lage, Form, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, relative Anordnung mehrerer Objekte zueinander und so weiter. Generell wird man versuchen, bereits die Bildaufnahme so zu optimieren, dass die gesuchten Eigenschaften möglichst deutlich erkennbar sind.

Bild 7 Bildverarbeitungssoftware

Die Software muss vielfältigen Anforderungen genügen: verschiedene Zugriffsberechtigungen, Rückverfolgbarkeit und Statistik der Produktionsdaten, einfache Parametrierung, sichere Fehlererkennung in der Qualitätskontrolle usw.

Technologie

Kameras

Je nach Aufgabe bevorzugt man Schwarz-Weiss- oder Farbkameras, Flächen- oder Zeilenkameras, in Standardauflösung oder hochauflösend. Die Kameratechnologie basierte noch vor wenigen Jahren auf den Videonormen, mit dem aus der Fernsehtechnik stammenden Halbbildverfahren. Heutige Kameras arbeiten im Progressive-Scan-Verfahren mit Auflösungen zwischen 640×480 und 1600×1200 Pixeln und mehr und nehmen das ganze Bild wesentlich schneller auf. Mit der Anzahl Pixel wächst natürlich die Datenmenge und damit die erforderliche Rechenleistung und Bandbreite für die Übertragung der Bilddaten. Die Anzahl Pixel bestimmt also auch die Kosten.

Kameraschnittstellen

Neben den traditionellen Analogsignalen werden heute vermehrt digitale Schnittstellen wie USB, Firewire oder CameraLink eingesetzt. Die modernen digitalen Schnittstellen erlauben einen bidirektionalen Datenverkehr, wodurch Verschlusszeit, Verstärkung oder Farbabgleich der Kamera durch den Rechner gesteuert werden können.

Beleuchtung

Die gesuchten Eigenschaften der Objekte müssen ins richtige Licht gesetzt werden. Die Beleuchtungstechnik hat sich in jüngster Zeit zu einer Nische in der Nische gemausert, und verschiedene Spezialbeleuchtungen sind heute ab der Stange erhältlich. Generell werden LED-Beleuchtungen bevorzugt, weil sie robuster, langzeitstabil und langlebig sind.

Rechner

Für die Analyse der Bilddaten eignen sich gängige industrietaugliche PCs. Sie sind günstig und leistungsfähig, und sie werden sich weiterentwickeln. Die herkömmliche Prozessorarchitektur verfügt über ein einziges Rechenwerk und ist an ihre Grenzen gestossen, weshalb Intel bei den neuen Prozessorgenerationen auf mehrere Rechenwerke setzt. Bei diesen Multicore-PCs teilen sich zwei oder mehr Rechenwerke die Arbeit. Um die Rechenwerke optimal auszulasten, müssen die Aufgaben verteilt werden. Die Software

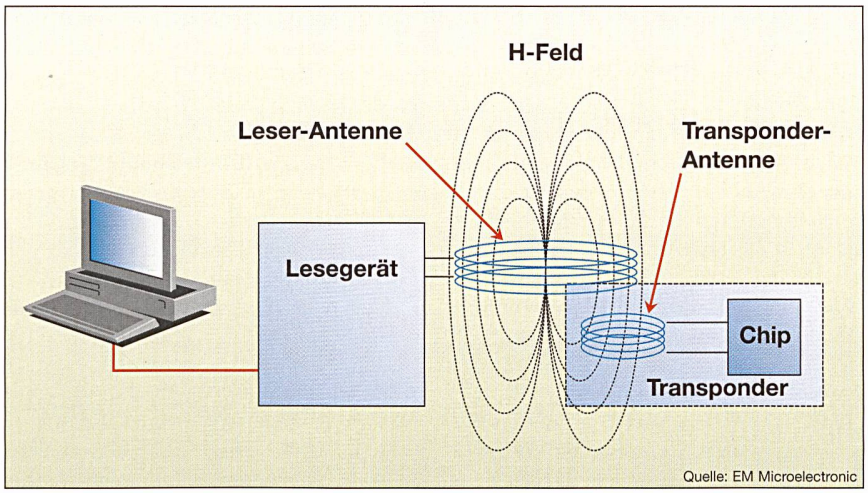

Bild 8 Nahfeld-RFID-System

gliedert die Arbeit in einzelne Teilaufgaben, so genannte Threads. Die Bildverarbeitung eignet sich besonders gut für das Multithreading, indem die Arbeiten in die Bildaufnahme, Bildvorverarbeitung, Segmentierung, Objektanalyse und Klassifikation (gut/schlecht) aufgeteilt werden. PC-basierte Systeme zeichnen sich durch hohe Flexibilität in der Wahl der Kameras, der Software ganz allgemein sowie der Schnittstellen zu übergeordneten Systemen aus.

Software

Das Angebot an Standardsoftware für die Bildverarbeitung ist gross, zumindest für PC-Systeme. Trotzdem sollte man sich nicht täuschen, die Wahl der richtigen Verfahren setzt einige Kenntnisse voraus und der Aufwand für das Engineering darf nicht unterschätzt werden.

Smart Cameras

Wird in die Kamera ein leistungsfähiger Mikroprozessor integriert, entstehen günstige Kleinsysteme: intelligente Kameras. Mit diesen Kleinsystemen werden auch Bildverarbeitungsalgorithmen mitgeliefert, die in vielen einfacheren Anwendungen genügen. Smart Cameras liegen in der Anwendung näher bei den einfachen Sensoren: sie liefern An-/Abwesenheitsentscheide, einfachere Gut-/Schlecht-Entscheide oder werden für die Codelesung eingesetzt (Beispiel: Datamatrix Code). Zur Systemverwaltung, Bedienung oder Visualisierung ist ein übergeordnetes System notwendig, mit dem die Geräte vernetzt werden können.

Embedded-Systeme

In Zukunft werden wir in Anwendungen mit hohen Stückzahlen, wie im Automobilsektor, beim Zählen von Personen, die in ein Verkehrsmittel ein- oder aussteigen, vermehrt Bildverarbeitungssysteme finden, die für bestimmte Aufgaben speziell entwickelt und optimiert wurden. Diese Systeme sind nicht universell einsetzbar, werden aber an vielen Orten Einzug halten.

Die industrielle Bildverarbeitung wächst

Die industrielle Bildverarbeitung ist ein Wachstumsmarkt. Der Weltmarkt beträgt heute 14 Milliarden Franken. Davon entfällt rund ein Viertel auf Europa[2]. Ein jährliches Umsatzwachstum zwischen 10 und 15% ist in dieser Branche normal. Dabei wächst sie vor allem in neuen Gebieten, wie im Sicherheitsbereich, wo Fingerabdrücke oder Gesichter erkannt werden. Parallel dazu geht der Trend zu kleineren Systemen, sprich intelligenten Kameras. Diese lesen Matrixcodes aus und ersetzen gleichzeitig Lichtschranken oder kapazitive Sensoren.

Die in der heutigen Bildverarbeitung verwendeten Algorithmen sind robuster geworden bezüglich Kontrast und Helligkeit, geometrischen Verzerrungen oder Bewegungen. Auch das Angebot ist breiter geworden und reicht von cleveren Sensoren über intelligente Kameras bis zu flexiblen und leistungsstarken Systemen. Es gibt folglich nicht «das beste» System – besonders dann nicht, wenn man die Gesamtkosten einer Lösung im Auge behält. Trotz vielen Versprechungen und Verlockungen kommt man nicht darum herum, sich mit den Methoden und Möglichkeiten der Systeme gründlich auseinander zu setzen. Ein systematisches Vorgehen und allenfalls ein Vorprojekt sind ratsam, auch wenn damit beim Engineering zuerst Mehrkosten anfallen. Der teuerste Weg ist derjenige, der nicht funktioniert, und den sollte man rechtzeitig vermeiden.

RFID-Systeme

Ein weiteres, spezielles Sensor-System, das zurzeit breit diskutiert wird, sind die RFIDs. Der Name RFID steht für Radio Frequency Identification. Das RFID-System lässt sich mit einem Barcode-Leser vergleichen, nur wird die RFID-Etikette per Funk ausgelesen. Damit sollen in Zukunft Medikamente oder die Artikel in den Warenhäusern gekennzeichnet werden. An der Kasse legt der Kunde seinen Einkauf nicht mehr auf das Band, die Kasse liest den gesamten Einkaufswagen aus. Logistiker inventarisieren mit einem Scanner ganze Lager.

Die Unternehmen versprechen sich viel von den RFID-Systemen, denn damit lässt sich jedes einzelne Produkt von der Herstellung über die Verteilung bis in den

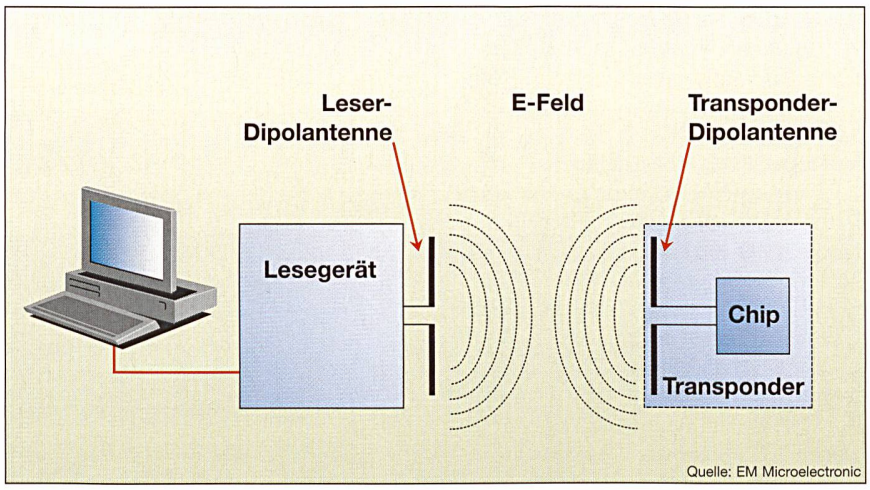

Bild 9 Fernfeld-RFID-System

Bild 10 Microwave-Transponder mit Chip und Dipol-Antenne, Lesedistanz >1 m

Verkauf verfolgen. Doch wie funktionieren diese Systeme, und wo liegen die Grenzen?

Technik der RFID-Systeme

Ein RFID-System besteht aus einer elektronischen Etikette (Transponder) und einem Lesegerät, die miteinander per Funk kommunizieren. Man spricht von passiven, semi-aktiven und aktiven Transpondern: Passive Transponder sind kostengünstig und am weitesten verbreitet; sie beziehen ihre Energie aus dem elektromagnetischen Feld, das von der Leserantenne erzeugt wird. Die einfachsten Transponder auf dem Markt sind die so genannten Electronic Article Surveillance Transponder (EAS), die als Diebstahlschutz dienen: Zum Beispiel in einem Musikgeschäft, in dem die CDs markiert werden. Solche Transponder werden nicht identifiziert, sondern nur detektiert. Bei semi-aktiven Transpondern werden bestimmte Funktionen mit einer Batterie unterstützt, zum Beispiel ein Mikrokontroller, eine Ein- oder Ausgangssignalverstärkung oder ein Speicher. Aktive Transponder sind vollwertige, miniaturisierte Sende-Empfänger, die oft mit Sensoren ausgerüstet sind und über weitere Distanzen kommunizieren.

Daten per Funk übertragen

RFID-Systeme werden in Nah- und Fernfeldsysteme unterteilt. Nahfeld-Systeme beruhen auf dem Prinzip der induktiven Kopplung zwischen einem Transponder und der Leser-Antenne. Solche Systeme gleichen einem kleinen Transformator, der Transponder bezieht seine Energie über das magnetische Feld (Bild 8). Man spricht von einem Nahfeld-System, weil das Magnetfeld bezogen auf die Distanz mit der dritten Potenz abnimmt, der Transponder befindet sich im Nahfeld der Antenne. Solche Systeme werden vorwiegend in den 125-kHz-(Low Frequency)- und 13,56-MHz-(High Frequency)-Frequenzbereichen betrieben und haben eine Reichweite unter einem Meter. Nähert sich ein Transponder dem Lesegerät, entnimmt dieser dem Feld eine bestimmte Energie. Diesen Energieverlust misst das Lesegerät. Der Transponder wiederum kommuniziert mit dem Lesegerät, indem er seinen Energieverbrauch moduliert (Lastmodulationsverfahren).

Bei Fernfeld-Systemen bezieht der Transponder seine Energie aus den elektromagnetischen Wellen, die sich frei im Raum ausbreiten. Solche Systeme sind mit einem klassischen Funksystem vergleichbar. Das elektrische Feld nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab und wird hier als Fernfeld bezeichnet. Fernfeldsysteme werden heute primär in den 868…915-MHz-(UHF)-, 2,45-GHz- und 5,8-GHz-Frequenzbänder betrieben. Passive Systeme arbeiten mit einer Reichweite bis zu 10 Metern. Und so funktionierts: Die Wellen werden von metallischen Strukturen reflektiert, die grösser als die halbe Wellenlänge sind. Bei Fernfeld-Systemen sind die Transponder-Antennen so angelegt, dass sie einen geringen Anteil der empfangenen Leistung zurücksenden. Dabei werden die Antennen-Reflektionseingenschaften variiert, um Daten zu übertragen. Man spricht von Backscatter-Systemen (Bild 9).

RFID-Systeme und Applikationen

RFID-Technologie kommt heute bereits in verschiedenen Gebieten zum Einsatz. Die Schweizer Firma EM Microelectronic[4)] in Marin, ein Halbleiterunternehmen der Swatch Group, hat 1989 ihren ersten Transponder für den Brieftaubensport entwickelt. 2005 wird EM mehr als 200 Millionen Transponderchips produzieren. Mittlerweilen kommen diese Chips bei Wegfahrsperren im Automobilbereich, in Zutrittskontrollsystemen (z. B. im Stade de Suisse, Wankdorf), zur Fälschungssicherung, in industriellen Wäscheanlagen, der Viehzucht oder der Logistik zum Einsatz.

Ideal wäre natürlich, wenn es für all diese Applikationen ein einheitliches System gäbe. Dem ist aber nicht so, denn jedes RFID-System hat seine Vor- und Nachteile: Die Lesedistanz ist unterschiedlich, die einen Systeme vertragen Störungen besser (EMV), je nach Material, ob mit flüssigem Inhalt oder metallischen Oberflächen sind unterschiedliche Transponder angebracht. Zudem sind je nach Land andere Frequenzen und Funkleistungen zugelassen. Auch die Anwendung bestimmt die Technologie: Müssen die Etiketten mehrmals beschrieben werden? Braucht es Speicherplatz auf dem Transponder? Arbeiten mehrere Transponder gleichzeitig, gibt es Kollisionen? Auch die Datenrate und die Datensicherheit sind unterschiedlich. Zudem ist es ein Unterschied, ob ein Kleidungsstück in jedem Geschäft erkannt werden muss, oder ob der Zündschlüssel nur von einem Autohersteller codiert wird (offene und geschlossene Systeme).

Hohe Frequenzen haben tendenziell eine höhere Reichweite und erlauben hohe Datenraten, werden aber von Flüssigkeit absorbiert und von metallischen Gegenständen reflektiert. Niederfrequenz-Transponder werden selbst im Magen von Rindern oder hinter einer Stahlwand identifiziert, benötigen aber eine Kupferspule als Antenne. Kontaktlose Bankkarten oder elektronische Pässe

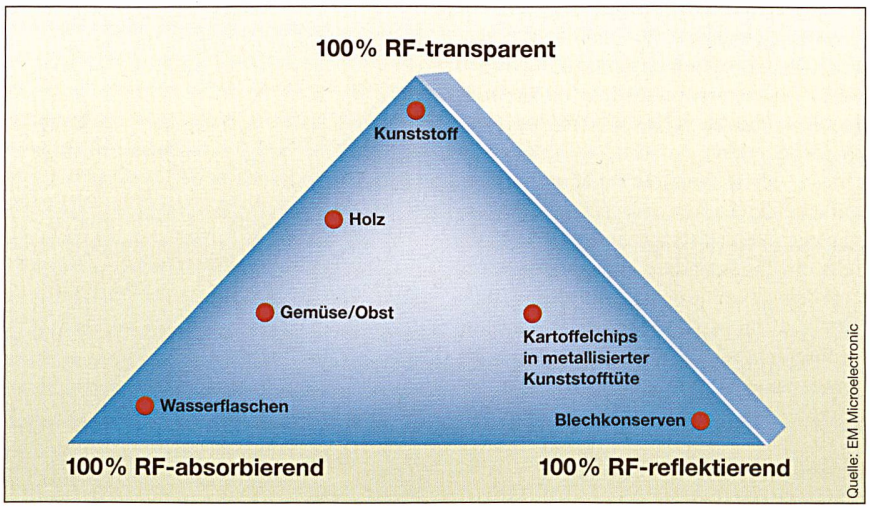

Bild 11 Reflexionen und dämpfendes Material stören die Funkübertragung.

Frequenzband	Frequenzen	Kopplung	Reichweite	Datenrate
LF	< 135 kHz	Induktiv	20...100 cm	tief
HF	13,56 MHz	Induktiv	10...70 cm	hoch
UHF	868... 928 MHz	Backscatter	2...10 m	sehr hoch
Microwave	2,45 & 5,8 GHz	Backscatter	1...2 m	sehr hoch

Tabelle II Heute meistbenutzte Frequenzbänder bei passiven RFID-Systemen

stellen hohe Anforderungen an die Speicherkapazität, die Sicherheit (kryptografische Funktionen) und an die eigene Intelligenz (Mikrokontroller-Transponder). Auch das Interface muss standardisiert sein, die Reichweite bleibt dafür eingeschränkt. Applikationen im Bereich der Logistik und der Verteilungskette verlangen schnelle Antikollision, hohe Lesedistanz und tiefe Transponderpreise (kleine, einfache Chips).

Die Schwierigkeit der Wahl eines geeigneten RFID-Systems wird anhand des Einkaufswagen-Beispiels im Supermarkt illustriert. Obwohl ein Transponder entlang der ganzen Verteilungskette seinen Nutzen bringt, also von der Produktion über die Verteilung bis zum Verkauf im Geschäft, wird er vom Konsumenten erst am Schluss dieser Kette wahrgenommen: Wenn er zusammen mit den anderen markierten Artikeln im Einkaufswagen landet. Möchte man nun an der Kasse all diese Artikel mit einem RFID-Leser gleichzeitig und automatisch erfassen, so wird man feststellen, dass eine 100% zuverlässige Erfassung schwierig wird, denn die Transponderleistung wird durch die umliegenden Materialien stark beeinflusst (Bild 11). Bereits der Einkaufswagen müsste aus RF-transparentem Material hergestellt werden. Die verschiedenen Aktoren der Verteilungskette müssen sich also auf eine bestimmte Technologie einigen, zum Beispiel auf den EPC-Standard (Elektronischen Produkt Code). Dieser schreibt in seiner letzten Fassung die Artikelmarkierung von UHF-Etiquetten vor.

Die UHF-Technologie bleibt in diesem Kontext trotzdem interessant, wenn sie in Bereichen mit RF-transparenten Artikeln, wie Kleidern oder sich bewegenden Artikeln (Fliessband, Produktions- und Verteilungskette) zur Anwendung kommt. Möchte man hingegen in einem Geschäft Artikel automatisch auf den Regalen inventarisieren, so ist die HF-Technologie eine bessere Lösung. Es ist heute noch nicht wirtschaftlich, einen Transponder einzusetzen, der auf mehreren Frequenzen arbeitet.

Und der Datenschutz?

Es ist klar, dass auch Dritte die RFID-Etiketten lesen können. Könnte es sein, dass in Zukunft unsere Gewohnheiten über unsere Kleider, Schuhe oder gar unsere Geldnoten registriert werden? Der Datenschutz muss also beachtet werden, insbesondere bei den Konsumgütern. Benetton wurde durch Konsumentenschutzgruppen gezwungen, einen RFID-Pilotversuch abzubrechen[5]. Die Warenhauskette Marks & Spencer hat aus solchen Erfahrungen gelernt und arbeitet seit einiger Zeit erfolgreich mit Konsumentenschutzgruppen zusammen, um Vorurteile und unbegründete Befürchtungen abzubauen. RFID-Etiketten werden als solche gekennzeichnet und können an der Kasse entfernt werden. Kunden werden mit einer Broschüre über Ziel und Zweck des Pilotversuches, der nächstens auf 53 Geschäftsstellen ausgedehnt wird, offen informiert[6].

Weiterführende Literatur

Klaus Finkenzeller, RFID-Handbuch, Hanser Verlag

Links

http://ieee1451.nist.gov/
http://www.ama-sensorik.de/
http://www.pb.izm.fhg.de/match-x/index.html
http://www.rfid-handbook.de/
http://www.rfidjournal.com/
http://www.aimglobal.org/
http://www.emmicroelectronic.com/
http://www.epcglobal.de/

Angaben zu den Autoren

Daniel Lanz ist Dozent für Elektronik und Mechatronik an der Berner Fachhochschule in Burgdorf.
BFH-HTI, 3400 Burgdorf, daniel.lanz@bfh.ch

Dr. Hans Grossmann ist Präsident der Sektion 46 Vision Systems von swissT.net.
Compar AG, 8808 Pfäffikon, hgrossmann@compar.ch

Thomas Gyger ist seit 2000 als RFID-Projektleiter bei der Firma EM Microelectronic angestellt. Seit 2001 ist er auch Mitglied der Hi-Tech-Abteilung der Swatch Group Management Services, die auf Konzernebene mit der Vertiefung der Technologien und Nutzung von Synergien beauftragt ist.
EM Microelectronic, 2074 Marin, tgyger@emmicroelectronic.com

[1] Dehnmessstreifen: Ein Ohm'scher Widerstand, dessen Widerstandswert sich proportional zur Oberflächendehnung ändert
[2] Pixel: abgeleitet aus picture elements
[3] Quelle: VDMA
[4] 2002 wurde EM Microelectronic von Venture Data Corp. weltweit als erster Hersteller von RFID-Chips eingestuft
[5] siehe http://www.spychips.com/
[6] siehe http://www.rfidjournal.com/article/articleview/1412/1/9/

Les capteurs – organes sensoriels des systèmes techniques

Série d'articles sur l'automation: les capteurs, y compris le traitement d'images et la RFID (4)

Les capteurs jouent un rôle de plus en plus important dans tous les domaines industriels. Ils donnent aux systèmes techniques des informations sur les grandeurs de mesure physiques, chimiques et même biologiques. Les progrès réalisés en micro-électronique et dans la technique des micro-systèmes ont abouti ces dernières années à une énorme poussée de développement – en particulier aussi dans le traitement industriel d'images et les systèmes d'identification à haute fréquence RFID. Dans ce dernier cas, des étiquettes spéciales sont saisies par radio.