

Auch in der industriellen Bildverarbeitung kann die Hardware ohne Software rein gar nichts

Die Software bestimmt den Funktionsumfang der Hardware

Ob in PC-gestützten Bildverarbeitungs-Systemen, intelligenten Kameras oder Vision-Sensoren: Der entscheidende Faktor für den Umfang und die Leistungsfähigkeit der Bildverarbeitungs-Funktionen ist die Software. Die technische Entwicklung auf der Softwareseite bestimmt darüber, welche Anwendungen die Hardware wie gut beherrscht - und schreitet rasant voran.

Kein Thema hat unter Bildverarbeitungs-Experten in den letzten Jahren so sehr für Diskussionsstoff gesorgt wie der Schnittstellen-Standard GigE Vision (Gigabit Ethernet for Machine Vision). In der Werbung wird GigE Vision stets groß herausgestellt. Aus dem Blick gerät dabei oft, dass für die Bildverarbeitung nicht die Schnittstelle das maßgebliche Element ist, sondern die Software: Erst sie ermöglicht im Zusammenspiel mit der Hardware die Erfassung, Verarbeitung und Auswertung der Bilddaten. »Schnittstellen sind eben nur Schnittstellen - die eigentliche Bildverarbeitung findet ja erst dahinter statt«, betont Dr. Lutz Kreutzer, Manager PR & Marketing von MVTec Software. Thomas Schmidgall, Marketingleiter von IDS Imaging Development Systems, bestätigt dies: »Eine Schnittstelle allein macht noch keine Bilder«, führt er aus. »Zur Schnittstellen-Hardware ist auch eine entsprechende Software vonnöten.«

Angesichts dessen ist es erstaunlich, dass gerade die Software in der Fachdiskussion so wenig Aufmerksamkeit findet. Möglicherweise liegt dies daran, dass Software ein vielschichtigeres und daher schwerer greifbares Thema ist als Schnittstellen-Standards. Trotz der Komplexität sind aber auch in der Softwaretechnik einige all-

gemeine Trends auszumachen: »Weil die Geschwindigkeit von Verfahren weiterhin eine große Bedeutung hat, wird die Beschleunigung der Software-Algorithmen stetig vorangetrieben«, erläutert Dr. Wolfgang Eckstein, Geschäftsführer von MVTec Software. »Hierbei nutzen die Entwickler einerseits Fortschritte auf der Hardware-Seite aus, und andererseits erstellen sie neue Algorithmen, die bekannte Verfahren in kürzerer Zeit ausführen.«

Ohne entsprechende Hardware kann nämlich auch die leistungsfähigste Software nicht das sein, was sie ist: »Weil die elektronischen Bauelemente unaufhaltsam schrumpfen und die Rechnerleistung permanent steigt, sind immer komplexere Analysealgorithmen und Bildverarbeitungs-Programme mit Echtzeiteffekt möglich«, formuliert Torsten Zöller, Senior Marketing Manager Europe Central bei Cognex. »Dies gilt sowohl für PC-gestützte Systeme als auch für sogenannte Vision-Sensoren, die mittlerweile Aufgaben übernehmen, die früher PC-Systemen vorbehalten waren.«

Ein wichtiger Trend bei Bildverarbeitungs-Software ist die Vereinfachung der Bedienung: »Sie wird noch über Jahre die Entwicklung der Software bestimmen«, hebt Eckstein hervor.

»Dies liegt daran, dass die Anforderungen durch die größere Nähe zum Endkunden wachsen und neue Techniken wie die 3D-Objekterkennung immer komplexer werden.«

Von der Komplexität dürfe aber der Anwender nichts spüren. Von großer Bedeutung ist ferner die Integration der Bildverarbeitungs-Verfahren in den übergeordneten Softwareprozess: »Ohne eine integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) lassen sich weder schnelle Entwicklungszyklen noch hohe Fehlertoleranz realisieren«, stellt Eckstein klar. Komfortable IDE sind auch für Zöller ein entscheidender Punkt: »Die Bildverarbeitung ist längst aus ihrem Kernthema Qualitätskontrolle hinausgewachsen; sie kooperiert heutzutage mit allen Aspekten der Prozessautomatisierung und -optimierung bis hin zur Prozessdokumentation und vollständigen Rückverfolgbarkeit der Produkte«, führt er aus. »Dem muss die Bildverarbeitungs-Software gerecht werden, so dass für die Anwender und Systemintegratoren Vision-Softwarepakete mit komfortablen IDE von großer Bedeutung sind. Die Applikationen erfordern nämlich schnelle Entwicklung, sichere und leicht handhabbare Programmierung und die entsprechenden Schnittstellen.« Wenn es um besonders komplexe Bildverarbeitungs-An-

wendungen mit PC-gestützten Systemen gehe, sei der Nutzer mit der Version 5.0 der Software »VisionPro« vollkommen hardwareunabhängig und könne jede Kamera oder Bildquelle und die diversen Prozesssteuerungs-Schnittstellen einschließlich Profinet nutzen. Mit der Software »In-Sight Explorer« und der Bedieneinheit »VisionView 700« ließen sich ganze Netze kompakter autarker Vision-Systeme der Familien »In-Sight« und »In-Sight Micro« schnell und problemlos in die anspruchsvolle Prozessautomatisierung einbinden.

Erst seit kurzem in der Diskussion ist ein Trend, den Michael Noffz, Marketingleiter von Silicon Software, zur Sprache bringt: »Ins Zentrum des Interesses der Bildverarbeiter sind die GPUs (Graphical Processing Units) geraten«, sagt er. »Das Potenzial der Grafikkarten liegt meistens brach, weil nur 2D-Funktionen genutzt werden. Da die Grafikprozessoren in vielen Fällen die Bildverarbeitungs-Algorithmik effizienter als die CPU (Central Processing Unit) verarbeiten können, werden sie immer stärker in die Standard-Bildverarbeitungs-Software mit integriert.«

Für die kommenden Jahre erwartet Noffz eine stärkere Symbiose zwischen verschiedenen Prozessortypen: »Zusätzlich zur CPU werden GPUs, FPGAs und DSPs oder neuere Entwicklungen wie Cell-Prozessoren stärker miteinbezogen werden«, führt er aus. Ein weiterer Trend sei die verteilte Verarbeitung: »Die einzelnen Komponenten werden über eigene Intelligenz bzw. Prozessorkapazität verfügen, die jeweils für die Bildauswertung nutzbar ist«, verdeutlicht Noffz. »Sie muss langfristig über die zusammenführende Instanz einer Bildverarbeitungs-Software gesteuert werden.«

Auch Peter Keppler, Vertriebsleiter für Systemlösungen bei

Stemmer Imaging, betont den Trend zu GPUs: »Rechenintensive Vorverarbeitungen lassen sich von der CPU in andere Prozessoren auslagern, wozu sich spezielle Hardware-Lösungen mit FPGAs anbieten«, sagt er. »Noch naheliegender ist es allerdings, die bereits neben der CPU vorhandene Rechenleistung des Computers voll zu nutzen, genauer gesagt: die der Grafikkarte. Moderne Grafikprozessoren bieten bei korrekter Programmierung ungeahnte Rechenleistung, kosten wenig und sind optimal am Markt verfügbar.« Die Bildverarbeitungs-Bibliothek »Common Vision Blox« von Stemmer Imaging ermöglichte es, die Rechenleistung der GPU für die Bildverarbeitung zu nutzen, was eine drastische Beschleunigung ohne zusätzliche Spezial-Hardware bringe. Durch die Implementierung der Funktion könnten sogar Nutzer von Visual Basic und Delphi ohne tiefgreifende Hardware-Programmierung das Beschleunigungspotenzial nutzen.

Bildverarbeitungs-Algorithmen

Was die Bildverarbeitungs-Algorithmen anbelangt, stehen nach Ansicht von Eckstein zwei Aspekte im Fokus: »Einerseits ist die automatische Bestimmung von Parametern das Mittel der Wahl, um Software für den Endanwender leicht handhabbar zu machen«, führt er aus. »Das Ziel ist hier, völlig auf die Vorgabe von Parametern wie Glättung oder Kontrast verzichten zu können. Bei Verfahren wie Shape-based Matching sowie Barcode- und Data-Matrix-Code-Lesen ist dieser Punkt bereits erreicht; die übrigen Bildverarbeitungs-Verfahren werden folgen.«

Andererseits entstehen derzeit viele interessante 3D-Bildverarbeitungs-Techniken: »Mit Hilfe der 3D-Rekonstruktion lässt sich die Form von Objekten bestimmen«, legt Eckstein dar. »Hierbei

sind Verfahren zur Analyse der 3D-`Datenwolken` erforderlich. Ferner kann der Anwender per 3D-Objekterkennung mit einer einzigen Kamera die Lage eines Objekts im Raum exakt festlegen, um es beispielsweise mit einem Roboterarm greifen zu können.« Mittels 3D-Verfahren ließen sich heutzutage Früchte von Bäumen automatisch pflücken, was neue Techniken für die Agrarindustrie ermögliche, mit denen auch in Ländern mit hohen Personalkosten preisgünstig produziert werden könne. »3D-Matching gestattet es zudem, Objekte in beliebiger Lage, etwa Schüttgut, zu greifen und anschließend für die weitere Verarbeitung exakt zu positionieren«, fügt Eckstein hinzu. »Dies erlaubt einen flexiblen Fertigungsablauf und spart Kosten, weil es kleine Losgrößen begünstigt.«

Auch aus Keplers Sicht bietet die Objekterkennung zahlreiche Möglichkeiten zur Erschließung neuer Applikationen: »Es gibt dafür viele verschiedene Algorithmen, die ihre spezifischen Stärken haben«, sagt er. Hervorzuheben sei das Tool »CVB Manto« aus der Common-Vision-Blox-Bibliothek: »Es klassifiziert auch Objekte mit großer natürlicher Variation sicher und ist daher für die Lebensmittelindustrie, die Sicherheitstechnik und Verkehrsüberwachungen prädestiniert.«

Cognex betrachtet die 3D-Objekterfassung ebenfalls als einen Trend mit zunehmender Bedeutung: »Unser Vision-Tool ‚OmniVision‘ hat sich hier schon bewährt«, ist Zöller überzeugt. »In Zukunft werden viele Bildverarbeitungs-Anwendungen die Chancen nutzen, die ihnen Algorithmen für die 3D-Bildanalyse eröffnen.« Von besonderer Bedeutung sei der 3D-Aspekt in der Robotik und Handhabungstechnik.

Nach Überzeugung von Dr. Hermann Tropf, Geschäftsführer von

Vision Tools, hat die 3D-Bildverarbeitung bereits Einzug in die Standard-Bildverarbeitungs-Pakete gehalten: »Dies betrifft sowohl die Erfassung und Auswertung von Höhenbildern als auch die Lokalisierung von Teilen anhand bestimmter Merkmale«, stellt er fest. »Mit relativ einfachen Mitteln und ohne mechanische Bewegungen ist eine 3D-Erfassung von Oberflächen möglich, die unabhängig ist von variablen Oberflächeneigenschaften wie Rauheit, Neigung, Bedruckung oder Schmutz.«

Laut Zöller beherrscht die Bildverarbeitungs-Software in zunehmendem Maße Aufgaben, die weit über das menschliche Sehen hinausgehen. »Innerhalb eines Aufnahmebereichs sind mehrere beliebig definierte partielle Bildfenster simultan in Echtzeit analysierbar«, legt er dar. »Erforderte dies früher noch mehrere Kameras, so genügt heutzutage eine einzige. Die Bildverarbeitungs-Aufgabe lässt sich schneller abarbeiten, weil nicht mehr das ganze Bild analysiert werden muss.«

Auch in der Kalibrierung zeigen sich bemerkenswerte Neuentwicklungen: »Die Entwicklungsumgebung ‚In-Sight Explorer‘ von Cognex bietet einen Assistenten, der Schritt für Schritt in die Kalibrierung der Bildpunkte mit den Roboterkoordinaten einweist«, stellt Zöller klar. »Dies ermöglicht unter anderem die Mehrbild-2D-Kalibrierung, verbessert die Genauigkeit und Wiederholbarkeit und minimiert Lokalisierungsfehler durch Korrektur der Linsen- und der perspektivischen Verzerrung.« Ein weiteres Beispiel sei die Unterscheidung von Farbnuancen: »Die Bildverarbeitungs-Algorithmen und das erweiterte HSV/HSB-Farbmodell der Software ‚VisionPro‘ lösen derartige Aufgaben zuverlässig und mit eindeutigen und wiederholbaren Ergebnissen«, wie Zöller betont.

Eine der Wissenschaften, die den Fortschritt in Sachen Bildverarbeitungs-Software vorantreiben, ist die Mathematik: »Neue Entwicklungen in der Mathematik stellen verbesserte Klassifikatoren bereit«, erklärt Eckstein. »Hierzu gehören beispielsweise die Support Vector Machines (SVM) und die Gaussian Mixture Models (GMM). Sie erhöhen die Klassifikationsleistung und sind leicht anzuwenden, weil sie die Trainingsdaten reduzieren.« Tropf gibt allerdings zu bedenken, dass automatische Lernverfahren, ob überwacht oder nicht, in ihrer Funktionsweise und besonders in ihrer Limitierung für den Endkunden transparent sein müssen. »Nur so kann der Kunde die Einsatzmöglichkeiten einschätzen und in problematischen Situationen ohne fremde Hilfe weiterkommen«, führt er aus. »Die zugrunde liegenden Mechanismen müssen an der Bedienoberfläche so offengelegt sein, dass der Kunde sie gezielt nutzen kann. Vision Tools setzt generell auf Methoden, die an der Bedienoberfläche im Einzelnen nachprüfbar sind.«

Einzug in die industrielle Bildverarbeitung halten ferner Verfahren zur Bildfolgenanalyse. Mit ihnen lassen sich beispielsweise Strömungen analysieren, der Rotationsmittelpunkt eines Objekts auf dem Fertigungsträger bestimmen oder die Geschwindigkeit eines Objekts ermitteln. »Auch in scheinbar ‚abgegrastem‘ Bereichen wie Filterung und Merkmalsgewinnung entstehen neue Verfahren, die die Handhabung und Robustheit von Anwendungen deutlich verbessern«, fügt Eckstein hinzu. »Es gibt beispielsweise neue Glättungsfilter, die die lokale Kantenrichtung ausnutzen und gezielt nur in Richtung der Kante glätten. Farbbilder lassen sich mittlerweile direkt zur Bestimmung subpixel-genauer Kanten oder zum Shape-based Matching heranziehen.«

Software dominiert auch auf der Schnittstellen-Ebene

Um auf die Ebene der Schnittstellen zurückzukommen: Auch hier spielt die Software mittlerweile eine herausragende Rolle. Nicht von ungefähr verweist der GigE-Vision-Standard auf die Software-Schnittstelle GenICam (Generic Interface for Cameras), die standardkonforme Kameras beliebiger Hersteller untereinander austauschbar macht. GigE Vision setzt mithin GenICam voraus, wohingegen GenICam an keine Hardware-Schnittstelle gebunden ist und sich daher prinzipiell auch mit CameraLink, Firewire und USB 2.0 einsetzen lässt. Schmidgall sieht den eigentlichen Kundennutzen des GigE-Vision-Standards ohnehin in GenICam: »GigE Vision ist ein Transportlayer, über dem die Software angesiedelt ist und ihre Funktionen ausübt«, erläutert er. »Die Anwendung ‚spricht‘ mit der GigE-Vision-Kamera aber nicht direkt, sondern über GenICam: Erst dieses Interface entkoppelt also die Applikation von der genutzten Bildverarbeitungs-Hardware.« Am Beispiel der Produktpalette von IDS bedeute dies, dass der Kunde je nach Anwendung frei wählen könne, ob eine USB-Kamera für 250 Euro ausreiche oder eine Hochleistungs-Gigabit-Ethernet-Kamera erforderlich sei.

Aus Keplers Sicht ist die Unabhängigkeit bei der Hardware-Auswahl besonders für Systemintegratoren ein wichtiger Pluspunkt: »Nur so lässt sich für jede einzelne Applikation die optimale Kamera unabhängig vom Hersteller aussuchen, ohne bei einem Wechsel der Hardware zusätzlichen Aufwand durch unterschiedliche Treiberbibliotheken zu verursachen«, sagt er. »Um diesen Vorteil der Technik voll ausnutzen zu können, ist es wichtig, dass die verwendete GigE-Vision-/GenICam-Implementierung ihn auch tatsächlich an die Anwender

weitergibt.« Die »Common-Vision-Blox«-Bibliothek bietet eine komplett eigenständige und unabhängige Treiberplattform für die beiden Standards, die in das bestehende Treiberkonzept des Programmpakets eingebunden sei. »Anwender können deshalb nicht nur zwischen verschiedenen GigE-Vision-Kameras wechseln, sondern auch ohne Software-Modifikationen CameraLink, Firewire, USB und sonstige Techniken nutzen und damit flexibel und ohne Leistungseinbußen auf die Anforderungen unterschiedlicher Applikationen reagieren.«

Für Christoph Zierl, Director Software Development von MVTec Software, liegt der Hauptvorteil von GenICam »in der einheitlichen Schnittstelle zu allen verfügbaren Kameraparametern«. Dies bedeute, »dass der Anwender unabhängig von der genutzten Kamera immer mit derselben Software-Schnittstelle arbeiten kann«, wie er betont. »Die Kamera-Hardware wird dadurch besser vergleichbar, was letztlich die Kosten für den Anwender verringert.«

Jürgen Zimmermann, Leiter Marketing und Vertrieb von Mikrotron, sieht in GigE Vision und GenICam einen wichtigen Schritt zur Vereinfachung des gesamten Engineerings in der Bildverarbeitung: »Für Anwender und Systemintegratoren erhöhen sie die Investitionssicherheit und reduzieren die Entwicklungskosten von Bildverarbeitungs-Projekten«, führt er aus. »Ein wichtiger Aspekt sind dabei auch die international einheitlich konfektionierten Steckverbinder, Kabel, Router und Switches. GigE Vision und GenICam zusammen ergeben den derzeit weitreichendsten Bildverarbeitungs-Standard mit großen Vorteilen gegenüber allen bisherigen Standards.« Zöller argumentiert ähnlich: »Für Endanwender und Systemintegratoren vereinfachen GigE Vision und GenICam das Engi-

neering von Bildverarbeitungs-Applikationen sowie deren Wartung und Instandhaltung, was die Kosten verringert«, sagt er. »Letztendlich entscheidet der Markt, welche Standards sich wie weit durchsetzen.« (ak)

Michael Noffz (Silicon Software) über FPGAs in der IBV: »FPGA kann CPU entlasten«

»Ein FPGA zur Verarbeitung von Bilddaten bietet sich an, wenn es um klassische Vorverarbeitung geht und um große Bilddatenmengen bei gleichzeitiger Entlastung der CPU. Die Struktur des FPGAs erlaubt eine hochparallele Bearbeitung von Daten in Echtzeit. Seine maximale Effizienz erreicht der Chip, wenn sich die Daten wie in einem Pipeline-System verarbeiten lassen. Falls das System durch Entscheidungsprozesse unregelmäßig unterbrochen wird, eignet sich eventuell eine CPU besser.

Mit dem Programmierwerkzeug ‚VisualApplets‘ von Silicon Software vermögen Anwender Designs und Hardwarecode problemlos zu erstellen. ‚VisualApplets‘ ist ein Bildverarbeitungs-, Entwicklungs- und Integrationswerkzeug. Nutzer können komplexe Algorithmen aus



Michael Noffz, Silicon Software

Basisoperatoren zusammenstellen und programmieren oder über Importfunktionen auch Fremdcode integrieren. Der Anwendungsbereich von ‚VisualApplets‘ erstreckt sich von der Auslagerung rechenaufwändiger Filteroperatoren bis zu selbstlaufenden Applikationen mit individueller Programmierung der Triggerfunktionen und Signalausgabe zur Steuerung der Peripherie.«

Peter Keppler (Stemmer Imaging) über FPGAs in der IBV: »Für rechenintensive Vorverarbeitungen«

»Hochauflösende Sensoren und schnelle PCI-Express-Systeme erlauben es den Herstellern von Kameras und Erfassungskarten, immer leistungsfähigere Erfassungstechniken zu entwickeln. Daraus entstehen riesige Datenmengen, die der Bildverarbeitungs-Rechner schnellstmöglich verarbeiten muss. Weil die Leistung der Rechner nicht in gleichem Maße wächst, ist auf eine optimale Ausnutzung der Kapazitäten zu achten. Optimierte Algorithmen sind dabei ein wichtiger Aspekt. Rechenintensive Vorverarbeitungen lassen sich allerdings von der CPU auf andere Prozessoren auslagern. Dazu bieten sich spezielle Hardware-Lösungen mit FPGAs an.«



Peter Keppler, Stemmer Imaging



Christoph Zierl, MVtec Software



Jürgen Zimmermann, Mikrotron



Torsten Zöller, Cognex

Christoph Zierl (MVtec Software) über FPGAs in der IBV: »Für zeitintensive Algorithmen«

»Vor allem bei High-Speed-Anwendungen ist ein FPGA zur Bildvorverarbeitung vorteilhaft. Mit seiner Hilfe lassen sich zeitintensive Algorithmen wie etwa eine Median-Filterung von der CPU auslagern. Hierzu ist eine transparente Einbindung in die Standardsoftware wichtig. Weil ein FPGA leicht zu konfigurieren ist, vermag der Anwender selbstständig zu entscheiden, welche Funktionen der Baustein ausführen soll. Er kann dadurch seine Bildverarbeitungs-Anwendungen sehr flexibel gestalten und an wechselnde Anforderungen anpassen.

Des Weiteren lassen sich FPGAs auch für eine Datenreduktion nutzen, d.h. es werden nicht mehr alle Bilddaten zur weiteren Auswertung in den Hauptspeicher übertragen.«

Jürgen Zimmermann (Mikrotron) über FPGAs in der IBV: »Vorverarbeitung in Echtzeit«

»Die unmittelbar dem CMOS-Bildsensor nachgelagerten FPGA-Bausteine können bei entsprechender Programmie-

rung die großen Original-Bilddateien bereits in der Kamera in Echtzeit vorverarbeiten. Mikrotron hat deshalb schon früh FPGAs in seine Produkte integriert. Der durch FPGAs entlastete Rechner auf Systemseite kann wesentlich höhere Bilddatenraten bewältigen und komplexe Algorithmen in Echtzeit abarbeiten. Dies erlaubt die Konzentration auf das, was wirklich interessiert, erhöht den Datenfluss um ein Vielfaches, stabilisiert den Bildverarbeitungs-Prozess und leistet einen wichtigen Beitrag, um das gesamte Engineering einer Anwendung zu vereinfachen. In diesem Anwendungsumfeld ist es aber immer ratsam, erfahrene Bildverarbeitungs-Fachleute in die Projekte einzubeziehen.«

Torsten Zöller (Cognex) über FPGAs in der IBV aus Anwendersicht: »Ein Thema für Systemintegratoren«

»Dem Anwender ist es letztlich egal, welche Details während der Bildverarbeitung ablaufen. Für ihn zählt das Endergebnis: sichere Arbeitsweise und eindeutige Resultate zu einem kalkulierbaren und günstigen Preis. Die Programmierung einer Bilddaten-Vorverarbeitung ist kaum sein Thema. Für Bildverarbeitungs-System-

integratoren kann die hardware-optimiert ablaufende Bildverarbeitung aber durchaus von Interesse sein. Letztendlich entscheidet aber auch hier, welche Werkzeuge und Komponenten für die Aufgabe zur Verfügung stehen und wie einfach das Engineering ist. Bei komplexen Aufgaben mit sehr schnellen Taktraten kann die Bild-Vorverarbeitung mittels FPGAs in der Kamera ein wichtiger Aspekt sein.«

Dr. Hermann Tropf (Vision Tools) über den Stand des Wissens in der IBV: »Bildverarbeitungstechnik hat ihre Grenzen«

»Auch bei vermeintlich einfachen Aufgaben und eng eingegrenzten Randbedingungen ist die industrielle Bildverarbeitungstechnik von der Erkennungsleistung des Menschen noch weit entfernt. Ein Beispiel: Die Erkennung von Bearbeitungsspänen in Sacklöchern mit teilweise verschmutzten Oberflächen. Solche Aufgaben sind derzeit nur mittels einer raffinierten, speziellen Messtechnik erfolgreich lösbar. Versuche mit Standardbeleuchtung und derzeit bekannten Bildverarbeitungsmethoden scheitern, obwohl die Fehler mit dem Auge am Monitorbild (nicht nur am Objekt!) eindeutig zu erkennen



Dr. Hermann Tropf, Vision Tools

sind. Der Grund: die Vielfalt der Erscheinungsformen eines Spans lässt sich nicht modellieren.

Im Bemühen, sich der menschlichen Erkennungsleistung zu nähern, liegen die derzeitigen Grenzen nicht in der Prozessorleistung oder im Speicherplatz, sondern im unzureichenden Verständnis der Mechanismen, die dem menschlichen Erkennen und Lernen zugrunde liegen. Ein tieferes Verständnis könnte mit gleicher Hardware jederzeit einen Quantensprung in Sachen Erkennungsleistung auslösen.

Um einem tieferen, technisch umsetzbaren Verständnis näher zu kommen, geht mein Aufruf an die Forschung nicht in die Richtung, noch bombastischere Aufgaben mit noch mehr apparativem Aufwand und möglichst vielen Projektpartnern (und entsprechendem Verwaltungsaufwand) gleichzeitig anzugehen, sondern sich zu bescheiden und auf den ersten Blick einfach erscheinende Aufgaben anzugreifen, die ungelöst oder unbefriedigend gelöst sind. Weniger ergibt oft mehr.«

aus: elektroniknet.de (<http://www.elektroniknet.de/home/automation/fachwissen/uebersicht/feldebene/bildverarbeitung/auch-in-der-industriellen-bildverarbeitung-kann-die-hardware-ohne-software-rein-gar-nichts/>);
Autor: Andreas Knoll, WEKA Verlag, 2007