

Kameras für die dritte Dimension

PMD-Technologie ermöglicht neue effiziente Anwendungen in der Industrie und Medizintechnik

► Fledermäuse orientieren sich extrem schnell auch in absoluter Dunkelheit. Sie verwenden dazu eine Art Ultraschall Radar, um die Umgebung räumlich wahrzunehmen. Der Photo-Misch-Detektor (engl. Photonic Mixer Device, PMD) verwendet dieses Prinzip der Fledermäuse im optischen Bereich – dreidimensionale Szenen werden ohne Rechenaufwand kostengünstig, effizient und mit hoher Geschwindigkeit erfasst.

Konventionelle Bildsensoren bestehen aus einer Vielzahl von Photodioden, die in einer Matrix angeordnet sind und über die Helligkeitsinformation ein Bild liefern.

PMD-Sensoren nehmen ebenfalls das Helligkeits- bzw. Grauwertbild auf – gleichzeitig erhält der Anwender aber die Abstandsinformation aus jedem Pixel (Abbildung 1). Das Funktionsprinzip basiert auf dem Lichtlaufzeitverfahren (engl. ToF – Time of Flight), d.h. eine PMD-Kamera ist mit mindestens einer Lichtquelle ausgerüstet, die die Szene ausleuchtet. Typischerweise wird infrarotes Licht verwendet, das für das menschliche Auge unsichtbar ist. Alternative sichtbare Beleuchtungen sind ebenso möglich, je nach Applikation auch sinnvoll. Der PMD-Sensor fängt das Licht wieder auf, die Auswertung der Entfernungsinformation erfolgt direkt im Pixel.

Damit besteht das PMD – mit anderen Worten ausgedrückt – aus einer Vielzahl von Distanzsensoren, die in einer Matrix angeordnet sind. Trotz dieser enormen Funktionalitätssteigerung im Vergleich zu konventionellen Bildsensoren handelt es sich beim PMD um einen Standard-CMOS-Sensor, bei dem neben der eigentlichen Bild- bzw. 3D-Aufnahme auch systemrelevante Elektronik wie die analog-digital Wandlung auf dem Chip integriert wird. Durch die pixelintegrierte SBI-Schaltung (Suppression of Background Illumination – Hintergrundlichtunterdrückung) moderner PMD-Sensoren wird eine Außenraumtauglichkeit erreicht, durch die auch an sonnigen Tagen noch zuverlässige Ergebnisse produziert werden.

DIE AUTOREN

THORSTEN RINGBECK

Dr. Thorsten Ringbeck studierte Nachrichtentechnik an der Universität Siegen und Betriebswirtschaft am bbz Siegen. Nach einer halbjährigen Tätigkeit als Ingenieur bei der SMS AG in Chicago, USA und der Promotion am Zentrum für Sensorsysteme wurde er 2002 technischer Entwicklungsleiter der PMDTechnologies GmbH, einer Beteiligungsgesellschaft der Audi Electronics Venture GmbH und ifm electronic gmbh. Seit 2009 ist Dr. Ringbeck verantwortlich für den Geschäftsbereich Business Development.



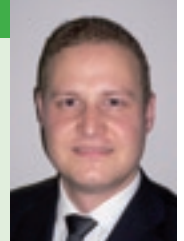
MARTIN PROFITTLICH

Martin Profittlich studierte Medieninformatik an der Fachhochschule Wedel. Während seines Studiums verbrachte er 6 Monate als Softwareentwickler im Forschungszentrum caesar in Bonn. Er ist seit 2005 in der PMDTechnologies GmbH tätig. Seit 2008 ist er dort Leiter der Softwareentwicklung.



CHRISTIAN SCHALLER

Christian Schaller ist seit 2007 Doktorand am Lehrstuhl für Mustererkennung der Universität Erlangen-Nürnberg und Mitglied der International Max Planck Research School for Optics and Imaging, Erlangen. Während seines Informatikstudiums an der Universität Erlangen-Nürnberg war er als studentischer Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen tätig und verbrachte ein Jahr als Intern bei Siemens Corporate Research in Princeton, NJ, USA.



Dr. Thorsten Ringbeck
 Martin Profittlich
 Christian Schaller
 PMDTechnologies GmbH
 Am Eichenhang 50
 57076 Siegen
 Tel.: + 49 (0)271 238 538-800
 Fax: + 49 (0) 271 238 538-809
 E-Mail: t.ringbeck@pmdtec.com
 Website: www.pmdtec.com

Weltrekord im modularen Würfel-format: PMD[vision] CamCube

Die verschiedenen erhältlichen PMD-Kameras decken ein weites Feld von Einsatzbereichen ab. Einige Modelle sind auf einen Markt oder Einsatzzweck spezialisiert, wie zum Beispiel den Automobilbereich oder Sensorik in industriellen Fertigungsanlagen. Dadurch wird eine größtmögliche Leistung für die jeweilige Anwendung bei vergleichsweise geringen Kosten erreicht. Andere Kameras sind darauf ausgelegt für möglichst

umfassende Aufgaben geeignet zu sein und ermöglichen es dem Applikationsentwickler die Möglichkeiten der PMD-Technik vollends auszuschöpfen, ohne frühzeitig an Systemgrenzen zu stoßen.

Eines der neuesten Kameramodelle ist der PMD[vision] CamCube (Abbildung 2). Er gehört in die zweite Kategorie und ist als Evaluationsplattform mit seinem modularen Konzept vor allem auf Flexibilität ausgelegt, ohne dabei Abstriche bei der Performance zu machen. Mit seinen über 41.000 Bildpunkten (204 x 204) hat er eine höhere

Auflösung als jede andere derzeit erhältliche hochintegrierte Time-of-Flight 3D-Kamera, bei gleichzeitig geringstem Preis pro Pixel. Auch hier ist die oben erwähnte SBI-Schaltung integriert, so dass die Kamera auch in sehr hellen Umgebungen noch zuverlässige Entfernungsbilder liefert. Mittels USB 2.0 Schnittstelle werden 3D Bildwiederholraten von 25 Bildern pro Sekunde und mehr erreicht. Durch die praktisch vollständige Verbreitung und die Einfachheit der USB-Schnittstelle ist die Kamera außerdem leicht am PC in Betrieb zu nehmen, was die Applikationsentwicklung vereinfacht.

In seiner Standardausführung hat der CamCube – je nach Einstellung – einen Eindeutigkeitsbereich zwischen 7 und 8 Metern. Durch geeignete Maßnahmen kann dieser jedoch auch deutlich gesteigert werden.

Durch das leicht wechselbare CS-Mount Objektiv ist die Kamera flexibel an Lichtstärke und Kundenbedürfnisse durch Justierung des Öffnungswinkels anpassbar. Zum anderen können auch die in getrennten Gehäusen untergebrachten Lichtquellen ausgetauscht werden. Durch speziell angepasste Beleuchtungsmodule ist es möglich, der Kamera durch mehr Lichtleistung eine höhere Reichweite und Genauigkeit zu geben, den Stromverbrauch oder die Hitzeentwicklung zu reduzieren oder auch die Lichtquellen an einem anderen Ort zu installieren als das Kameramodul. Letzteres ist beispielsweise im Automobilbereich gefragt, wo die Lichtquellen typischerweise im Bereich der Scheinwerfer untergebracht werden, während die Kamera in der Nähe des Innenspiegels hinter der Windschutzscheibe sitzt. Auch in seinem Inneren hat der CamCube ein modulares Design. Dadurch sind auch kundenspezifische Hardwareanpassungen in einem vertretbaren Kostenrahmen möglich. Die plugin-basierte Softwareschnittstelle erweitert diese Flexibilität in den Softwarebereich. Hiermit sind auch Softwareanpassungen möglich, ohne dabei ganze Applikationen modifizieren oder neu übersetzen zu müssen.

Gerade durch diese Eigenschaften ist der CamCube für die unterschiedlichsten Einsatzzwecke geeignet. Um nur einige zu nennen:

- Bereichsüberwachung
- Robotersteuerung
- Virtual- und Augmented-Reality Anwendungen
- „Griff in die Kiste“
- Mensch-Maschine Interaktion
- Multimedia/Gaming
- Automotive im Innen- und Außenraum
- Medizintechnik (s. u.)



ABB. 1: Farbcodiertes Entfernungsbild (links) und Grauwertbilddarstellung (rechts) des PMD[vision] CamCube.

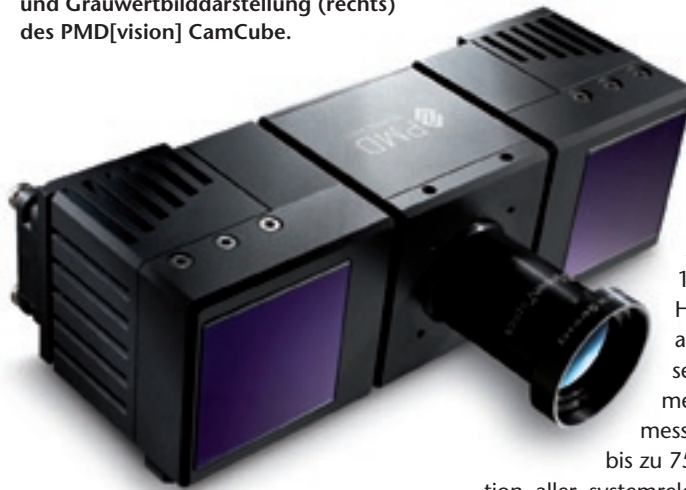


ABB. 2: Der PMD[vision] CamCube: 3D-Vermessung mit über 41.000 Pixeln.

Von der Punktwolke zur Applikation

Natürlich ist eine PMD-Kamera nur der erste Schritt zur Applikation. Die erzeugten Entfernungsbilder und Punktwolken müssen verarbeitet und interpretiert werden. Erst durch entsprechende Software kann die gewünschte Reaktion auf das Beobachtete ausgelöst werden. Durch eine umfassend dokumentierte und einfach zu benutzende Programmierschnittstelle, kann sich der Kunde schnell und direkt mit der eigentlichen Applikation auseinandersetzen. Durch die oben bereits erwähnte Plugin-Schnittstelle ist es außerdem möglich, ohne großen Aufwand das Kameramodell zu wechseln – ein einfacher Austausch des Plugins reicht.

Im Mittelpunkt: die Applikation

Viele fertige Lösungen befinden sich bereits im Markt. Den ersten sehr breiten Marktzugang fand die PMD-Technologie in Industrie-sensoren für die Automatisierungstechnik.

Bereits 2005 wurde auf der Hannover Messe von der ifm electronic Essen, der efector pmd vorgestellt und mit dem 100.000 EUR dotierten HERMES AWARD 2005 ausgezeichnet. Der Lasersensor dient zur millimetergenauen Abstandsmessung bei Reichweiten bis zu 75 m. Durch die Integration aller systemrelevanten Komponenten auf den Bildsensor, wird ein extrem kleiner Bauraum von nur 42 x 45 x 52 Millimetern ermöglicht.

Eine breite Nutzung in nahezu allen Branchen und Industrien, mit unterschiedlichsten Applikationen, werden mit dem efector pmd gelöst. Die Anwendungen reichen von der Steuerung der Verpackungslinien in der Eisproduktion über die Gepäckausrüstung bei Sicherheitsschleusen von Flughäfen bis zum Kollisionsschutz von Hängebahnförderern, „Fach belegt“ Erkennungen in der Fördertechnik und Füllstandskontrollen in Behältern der Schokoladenproduktion (Abbildung 3).

Der Schritt in die dritte Dimension gelang mit dem efector pmd3d. Die weltweit erste „Time-of-Flight“ Industriekamera im IP67 Gehäuse erfasst auf einen Blick Objekte räumlich – ohne den üblicherweise zusätzlichen Rechenaufwand bei stereoskopischen Verfahren oder über Bewegung bei scannenden Ansätzen. Der Sensor Chip verfügt über 64x48 Pixel, die neben der Reflektivität auch den Abstand zum Messobjekt detektieren. Man erhält zeitgleich 3.072 Abstandswerte. Auf Basis dieser Information kann der 3D Sensor mit drei Auswertemodi angeboten werden. Entweder kann direkt das Volumen, oder der Abstand oder der



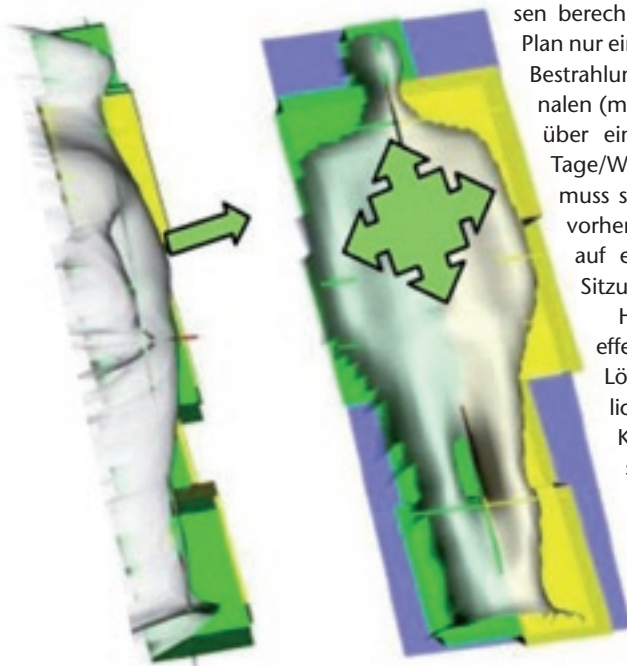
ABB. 3: Der efactor pmd in der Eisproduktion (links) und bei der Ausrichtung von Gepäckstücken (rechts, mit freundlicher Genehmigung der ifm electronic gmbh)

Füllstand ausgegeben werden, je nachdem, welche Anforderung die Applikation an den Sensor stellt.

Neue Dimension in der medizinischen Therapie

Seit kurzer Zeit werden PMD-Kameras auch in Bereichen der Medizintechnik zu Forschungszwecken eingesetzt. Der Lehrstuhl für Mustererkennung der Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg ist seit mehreren Jahren maßgeblich an der Etablierung von PMD-Kameras in der Medizintechnik beteiligt.

ABB. 4: Mittels PMD-Kamera kann die Bestrahlungseffizienz von Lungen-Tumoren gesteigert werden, indem der optimale Bestrahlungszeitpunkt anhand der Atemkurve gemessen wird (Gating-Verfahren).



Ein interessanter Teilbereich der Medizintechnik ist hier die Strahlentherapie. Die klassische Strahlentherapie befasst sich mit der Bestrahlung von Tumoren, um deren Größe zu verringern. Um einen optimalen Ablauf, maximale Effizienz für Krankenhäuser und eine größtmögliche Sicherheit für die Patienten zu gewährleisten müssen verschiedene grundlegende Probleme adressiert werden. Hierzu gehören zum einen die korrekte Lagerung des Patienten vor und während der Bestrahlung, sowie die Kompensierung von Atembewegungen während der Bestrahlung.

Um Tumorgewebe optimal bestrahlen zu können, wird im Vorfeld jeder Bestrahlung ein sogenanntes Planungs-CT (Computertomographie) erstellt. In diesen Aufnahmen kann der Arzt die komplette Bestrahlung planen. Hierzu werden zu bestrahlende Tumore identifiziert und geeignete Einstrahlwinkel und Bestrahlungsdosen berechnet. In der Regel wird dieser Plan nur einmal, und zwar vor Beginn der Bestrahlung, angefertigt. Bei fraktionierten (mehrfachen) Bestrahlungen, die über einen Zeitraum von mehreren Tagen/Wochen stattfinden können, muss sichergestellt werden, dass ein vorher angefertigter Plan basierend auf einem Planungs-CT bei jeder Sitzung valide ist.

Hier können PMD-Kameras eine effektive und kostengünstige Lösung bieten. Durch die Möglichkeit mit PMD-Kameras die Körperoberfläche des zu bestrahlenden Patienten dreidimensional zu erfassen, kann ein sechs dimensionaler Verschiebungsvektor (Translation/Rotation) zwischen einer Referenzoberfläche und

der aktuellen Oberfläche des Patienten berechnet werden. Mit der neuesten PMD-Kamerageneration und den Bildverarbeitungs-Algorithmen des Lehrstuhls für Mustererkennung der Universität Erlangen-Nürnberg kann derzeit eine Positionierungsgenauigkeit von ca. 1 mm bei Phantomen (Probekörper, die dem menschlichem Körper ähnlich sind) erreicht werden. Entscheidender Vorteil von PMD-Kameras gegenüber anderen Systemen ist v.a. die kostengünstige Umsetzung, da das komplette Messprinzip für die räumliche Aufnahme von Oberflächen in einem Chip realisiert ist. Somit ist es möglich, dies direkt in vorhandene Geräte als Standardlösung zu integrieren. Durch die monokulare PMD-Kamera entfallen auch aufwändige Kalibrierungsschritte, wie sie z.B. bei Stereosystemen notwendig sind.

Vor allem während der Bestrahlung von Lungentumoren, oder auch Tumoren in der Oberkörperregion eines Patienten hat die Atmung des Patienten einen unmittelbaren Einfluss auf die Position des Tumors. Tumore bewegen sich allein durch die Atmung des Patienten teilweise um mehrere Zentimeter periodisch innerhalb des menschlichen Körpers. Möchte man die maximale Dosis auf den Tumor anwenden und zugleich jedoch möglichst viel umliegendes gesundes Gewebe schonen, ist es wichtig, dass die Position des Tumors bekannt ist. Kennt man die Position, kann man das sog. Gating-Verfahren anwenden. Da die Bewegung des Tumors von der Atmung des Patienten abhängig ist, kann eine Relation dieser beiden Parameter hergestellt werden. Dies bedeutet, dass in ähnlichen Atemzuständen (z.B. 20% eingeatmet) der Tumor wiederholbar an ähnlichen Positionen im Körper vorzufinden ist. Gating verwendet nun die Atemkurve des Patienten und setzt eine obere, bzw. untere Grenze fest. Befindet sich die At-

mung innerhalb dieser Grenzen, kann man davon ausgehen, dass der Tumor sich an jeweils derselben Position befindet. Somit wird der Strahl nur aktiviert, wenn sich die Atmung des Patienten innerhalb der festgelegten Grenzen und sich der Tumor somit an einer definierten Position befindet.

Auch hier bieten PMD-Kameras eine innovative Lösung, berührungslos die Atmung des Patienten zu messen. Durch die Erfassung einer 3D Punktwolke der Oberfläche des Patienten kann dieser automatisch in anatomisch interessante Regionen (z. B. Thorax (Brustkorb) und Abdomen (Bauch)) unterteilt werden. Mit geeigneten Verfahren des Lehrstuhls für Mustererkennung der Universität Erlangen Nürnberg ist es möglich die Bewegung von Thorax und Abdomen genau zu detektieren. Daraus resultiert eine unabhängige Atemkurve für jede dieser Regionen. Diese Atemkurven können als Grundlage für das eben vorgestellte „Gating“ verwendet werden. PMD-Kameras zeigen hier einen entscheidenden Vorteil zu konventionellen Technologien, die aktuell zur Messung von Atmung eingesetzt werden. Viele dieser Methoden basieren auf Sensoren, die direkt am Körper angebracht werden müssen. Durch eine berührungslose Möglichkeit, die durch die PMD-Kameras gegeben ist, kann dieser Prozess effizienter und sicherer durchgeführt werden.

Ausblick

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass sich die PMD-Technologie in großen Schritten weiterentwickelt. In den Bereichen Pixelauflösung, Genauigkeit, Fremdlichtresistenz und Geschwindigkeit wurde in den vergangenen Jahren bereits einiges erreicht. Vor allem bei Auflösung und Miniaturisierung stehen weitere Innovationen bevor, wodurch weitere Anwendungen von der Technologie profitieren können.

Referenzen

- [1] Christoph Heckenkamp: Das magische Auge – Grundlagen der Bildverarbeitung: Das PMD Prinzip; *Inspect*. Nr. 1, 2008, S. 25–28.
- [2] Schaller, Christian; Adelt, André; Penne, Jochen; Hornegger, Joachim: Time-of-flight sensor for patient positioning In: Samei, Ehsan; Hsieh, Jiang (Eds.); *Proceedings of SPIE (Medical Imaging 2009: Physics of Medical Imaging Lake Buena Vista, Orlando 07.02.09–12.02.09)* Vol. 7258 2009, pp. online

