



## Information zum Referenten:

**Dr. Bernhard Moser**  
**Area Manager KBT, SCCH**



## Studium

an den Universität Salzburg und Linz, A

1986 – 1991 Studium der Mathematik mit Schwerpunkt Logik

1996 Promotion mit einem Thema aus dem Bereich der Fuzzy Logic

## Berufliche Karriere

1992 - 1993 Universität Salzburg, A

Forschungsassistent und Lektor für Mathematik und Computer Wissenschaften

1994 - 1999 Universität Linz (Fuzzy Logic Laboratorium Linz-Hagenberg)

Forschungsassistent und Lektor für Mathematik und Mechatronik

Mitarbeit an Industrieprojekten u.a. für Hilti AG, Liechtenstein

1999 – 2004 PC Technik GmbH und Cyberhouse GmbH, A

Projektmanagement und Softwareengineering

## Derzeitiger Arbeitgeber / Institution

Seit 2005 Software Competence Center Hagenberg (SCCH), A

Projektmanagement

Leitung der Gruppe Computer Vision

Bereichsleitung von Knowledge-Based Technologies (KBT), umfasst Computer Vision, Industrial Data Mining und Biomedical Data Analysis

[www.scch.at](http://www.scch.at)

bernhard.moser@scch.at

# Potential von Time Of Flight Kameras für industrielle Anwendungen

*Bernhard Moser<sup>1</sup>, Holger Schöner<sup>1</sup>, Adrian Dorrington<sup>2</sup>, Michael J. Cree<sup>2</sup>, Dale A. Carnegie<sup>3</sup>, Frank Bauer<sup>4</sup>, Betina Heise<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Software Competence Center Hagenberg, SCCH*

<sup>2</sup>*Department of Engineering, University of Waikato, New Zealand*

<sup>3</sup>*Department of Physical and Chemical Sciences, Victoria University of Wellington, New Zealand.*

<sup>4</sup>*Department of Knowledge-Based Mathematical Systems, Universität Linz*

## 1 3D Vision als Trend

Derzeit zeichnet sich ein eindeutiger Trend in Richtung Anwendungen von 3D Sensorik für die Lösung von Computer Vision Problemen ab. Insbesondere spielt 3D Vision in der Robotik für Pick&Place Anwendungen und bei der robusten Erkennung von Hindernissen oder etwa bei der Überwachung von Sicherheitsbereichen eine zunehmend wichtige Rolle.

Die 3D Sensor-Messtechnik beruht im Wesentlichen auf den Prinzipien a) der Triangulation b) time-of-flight, c) der Interferometrie, d) Shape from Shading und e) Stereo-Vision [Jähne 2005].

Je nach Meßprinzip können unterschiedliche Größenordnungen für den Abstand bzw. für die Genauigkeit erreicht werden. So werden beispielsweise mit klassischer Interferometrie Auflösungen im Mykrometer bis hin zum Nanometer-Bereich mit einer Meßgenauigkeit zwischen  $\lambda/10$  und  $\lambda/100$  erreicht. Diese Methode hat allerdings den Nachteil relativ hoher Kosten und eines größeren Kalibrierungsaufwandes. TOF Kameras - basierend auf dem time-of-flight Prinzip – stellen eine preisgünstige Alternative für Entfernungen von mehreren Metern und einer Tiefenauflösung im Zentimeter-Bereich dar. Allerdings erreichen diese Kameras die theoretische Meßgenauigkeit in der Praxis oft nicht aufgrund von Instabilitäten und hoher Sensitivität bezüglich Phasen-Fluktuationen und Temperatur-Schwankungen. Diese Ungenauigkeiten können teilweise mit entsprechenden Filteralgorithmen eingedämmt werden [Rapp 2007, Moser et al. 2008].

### 1.1 Das Time-of-Flight Prinzip

Eine Time-of-Flight (TOF) Kamera ist ein System, das in der Lage ist, 3D Informationen von Objekten zu gewinnen. Dabei können zugleich Intensitätsbilder als auch Abstandsbilder (range images) gewonnen werden. Während die Intensität mit Standard CCD/CMOS Bildsensor-Techniken realisiert wird, kommt bei der Gewinnung der Abstandsinformation ein "time of flight"-Prinzip zur Anwendung, demgemäß die Zeitdauer  $t_A$  (time of arrival) gemessen wird, die ein ausgesendetes mit der Frequenz  $f_M = 1/T$  amplitudenmoduliertes optisches Signal  $s$  braucht, um nach Reflexion an einem Objekt wieder am Ausgangspunkt einzutreffen. Diese Zeitdauer  $t_A$  wird mittels Korrelation berechnet, die ein

Maß für die Phase  $\phi$  liefert, die (innerhalb eines bestimmten Bereiches) zum Abstand  $z$  proportional ist ( $c$  Lichtgeschwindigkeit):

$$\phi = \frac{4\pi f_M}{c} z.$$

Dabei werden mittels phasenverschobenen Demodulationssignalen Korrelationen  $r(\tau_1), \dots, r(\tau_4)$  bestimmt, um in weiterer Folge aus diesen Rohbildern ein Phasenbild  $I(\phi)$  und ein Signal-Amplituden-Bild  $I(A)$  abzuleiten ([Lang 2000]):

$$r(\tau_i) = s(t) * g(t) = \frac{1}{T} \int s(t) \cdot g(t + \tau_i) dt$$

$$r(\tau_i) = B + A \cos(\phi + \Delta\phi_i)$$

wobei  $\Delta\phi_i = 2\pi f_M \cdot \tau_i = \frac{2\pi(i-1)}{4}$ ,  $s$  das optische Signal und  $g$  das Demodulationssignal bezeichnet.

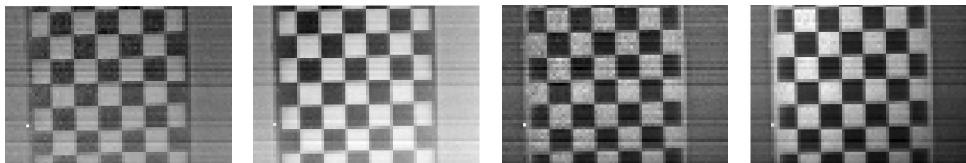


Abbildung 1: Beispiel von vier Rohbildern  $r(\tau_1), \dots, r(\tau_4)$  von einem Schachbrett

Aus den Rohbildern  $r(\tau_1), \dots, r(\tau_4)$  können nun der Offset  $B$  und die Amplitude  $A$  sowie die Phase  $\phi$  bestimmt werden:

$$A = \frac{\sqrt{(r(\tau_4) - r(\tau_2))^2 + (r(\tau_3) - r(\tau_1))^2}}{2}$$

$$B = \frac{r(\tau_1) + r(\tau_2) + r(\tau_3) + r(\tau_4)}{4}$$

$$\phi = \arctan \left[ \frac{r(\tau_4) - r(\tau_2)}{r(\tau_3) - r(\tau_1)} \right]$$

Zum aktuellen Stand dieser Meßtechnik siehe [Oggier et al 2004], [Stappa et al 2004], [Carnegie 2005], [Payne et al. 2006], [Dorrington et al 2007], [Dorrington et al 2008].

## 2 Potential für industrielle Anwendungen

Was für die 2D-Bildverarbeitung nur mit erheblichem Aufwand vor allem hinsichtlich komplexer

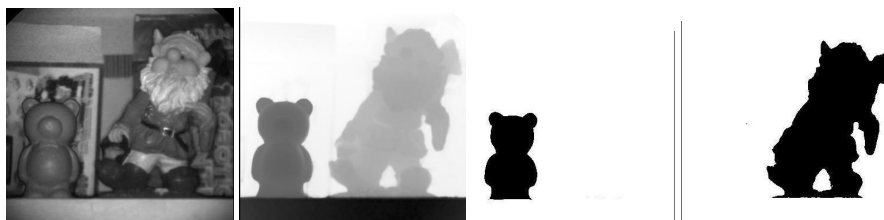


Abbildung 1: Intensitätsbild mit Objekten, die hohe Kontraste aufweisen (Bild 1); Tiefenbild (Bild 2); Objekt-Segmentierung durch einfache Schwellwertbildung (Bild 3 und 4).

Algorithmik gelöst werden kann, kann unter Zuhilfenahme von Abstandsinformationen wesentlich vereinfacht werden, wie dies das Beispiel in Abbildung 1 verdeutlicht. Dieses Beispiel zeigt eine Szene mit Objekten, die zum Teil stark strukturierte und kontrastreiche Texturen aufweisen. Die

B. Moser, H. Schöner, A. Dorrington,  
M. J. Cree, D. A. Carnegie, F. Bauer, B. Heise

Objekte zu segmentieren, ihre Lage zu bestimmen ist ohne 3D Information eine nicht-triviale Problemstellung, die aufwändige Methoden des Pattern Matching erfordert. Im Gegensatz dazu können jedoch mittels Abstandsinformationen die Objekte in diesem Fall bereits durch eine einfache Schwellwertbildung separiert werden. Dies soll veranschaulichen, wie mit 3D Vision auch 2D Probleme einfacher und robuster gelöst werden können. Auf diese Weise eröffnen sich mit 3D Vision neue Anwendungen und neue Perspektiven hinsichtlich Robustheit und Lösbarkeit von Vision Aufgaben vor allem in der Robotik. Aufgrund der Kompaktheit und der Tatsache, dass kein Scan-Vorgang für die Bildgewinnung nötig ist, ergeben sich große Potentiale insbesondere für TOF Kameras.

### **3 Literatur**

Carnegie D.A., M. J. Cree, A. A. Dorrington: A High-Resolution Full-Field Imaging System, Review of Scientific Instruments, 76, CID 083702, 2005.

Dorrington A., A. Payne, R. Conroy, M. Cree, D. Carnegie: Achieving sub-millimeter precision with a solid-state full-field heterodyning range imaging camera, Measurement Science and Technology, 18, 2809-2816, 2007.

Dorrington A., Cree M., Carnegie A.D., Payne A.D., Conroy R.M., Godbaz J.P., and Adrian P. P. Jongenelen A.P.P: Video-rate or high-precision: A flexible range imaging camera, Image Processing: Machine Vision Applications. Edited by Niel, Kurt S.; Fofi, David. Proceedings of the SPIE, Vol. 6813, S. 681307-12, San Jose, CA, 2008.

Jähne, B.: Digitale Bildverarbeitung, Springer Verlag, Berlin, 2005.

Lange R., P. Seitz, A. Biber, and S. Lauxtermann: Demodulation Pixels in CCD and CMOS Technologies for Time-of-Flight Ranging, Proc. SPIE, 3965, 177-189, 2000.

Moser B., F. Bauer, B. Heise, P. Elbau, H. Schöner: Denoising techniques for raw 3D data of TOF cameras based on clustering and wavelets, Three-Dimensional Image Capture and Applications 2008. Edited by Corner, Brian D.; Mochimaru, Masaaki; Sitnik, Robert. Proc. of the SPIE, Vol. 6805, S. 68050E-12, San Jose, CA, 2008.

Oggier T., M. Lehmann, R. Kaufmann, M. Schweizer, M. Richter, P. Metzler, G. Lang, F. Lustenberger, and N. Blanc: An all-solid-state optical range camera for 3D real-time imaging with sub-centimeter depth resolution (SwissRanger), Proc. SPIE - Optical Design and Engineering, 5249, 534-545, 2004.

Stoppa D., L. Viarani, A. Simoni, L. Gonzo and M. Malfatti: A new architecture for TOF-based range-finding sensor, Proc. IEEE Sensors, 1, 481-484, 2004.

Payne D.A., D. A. Carnegie, A. A. Dorrington, and M. J. Cree: Full Field Image Ranger Hardware, The third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test & Applications, Kuala Lumpur, Malaysia, 17-19 January, 263-268, 2006.

Rapp H.: Experimental and theoretical investigation of correlating TOF camera systems, Master's thesis, Universität Heidelberg, 2007.

#### **3.1 Danksagung**

Diese Publikation wurde vom österreichischen COMET Programm unterstützt.