

Antragspaket Dynamisches 3D Sehen

Abschlussbericht



Prof. Dr.-Ing.
Andreas Kolb

Lehrstuhl für
Computergraphik
und
Multimediasysteme

Universität Siegen
Hölderlinstr. 3
57068 Siegen



Prof. Dr.-Ing. habil.
Otmar Loffeld

Zentrum für
Sensorsysteme
(ZESS)

Universität Siegen
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57068 Siegen



Prof. Dr.-Ing.
Reinhard Koch

Multimediale
Informations-
verarbeitung
(MIP)

Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel
Olshausenstr. 40
24098 Kiel



Prof. Dr.-Ing.
Klaus-Dieter Kuhnert

Institut für
Echtzeit-Lernsysteme

Universität Siegen
Hölderlinstr. 3
57068 Siegen



Prof. Dr.-Ing.
Hartmut Roskos

Physikalisches
Institut

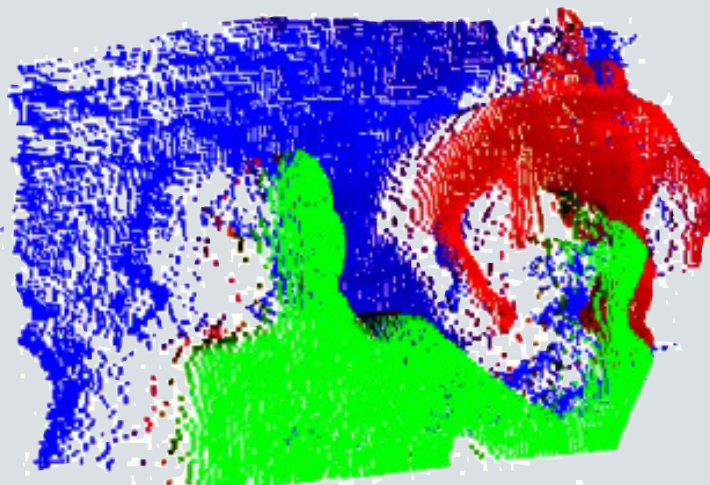
J.W. Goethe-Universität
Max-von-Laue-Str. 1
60438 Frankfurt am
Main

Dynamisches 3D Sehen

Prof. Dr.-Ing.
Andreas Kolb

Zentrum für
Sensorsysteme
(ZESS)

Universität Siegen
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57068 Siegen



Prof. Dr.-Ing. habil.
Otmar Loffeld

Zentrum für
Sensorsysteme
(ZESS)

Universität Siegen
Paul-Bonatz-Str. 9-11
57068 Siegen

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Angaben	1
1.1	DFG-Geschäftszeichen	1
1.2	Antragsteller	1
1.3	Beteiligte Institutionen und Antragsteller	2
1.4	Thema	2
1.5	Berichts- und Förderzeitraum	2
1.6	Fach- und Arbeitsrichtung	3
1.7	Zusammenfassende Darstellung des Paketes	3
2	Ziele für die zweite Projektphase und wesentliche Arbeitsergebnisse	4
3	Kooperationen zwischen den Teilprojekten	5
4	Publikationen und Promotionen	5
5	Workshops, Editorentätigkeit, übergreifende Veröffentlichungen und Vorträge	6
5.1	Workshops	6
5.2	Übergreifende Veröffentlichungen und Vorträge	7
6	Synergien und weiterführende Projekte	7

1 Allgemeine Angaben

Zusammenfassender Abschlussbericht der zweiten Förderphase der fünf Teilprojekte des Antragspaketes „Dynamisches 3D Sehen“.

1.1 DFG-Geschäftszeichen

PAK 73

1.2 Antragsteller

<p>Andreas Kolb, Prof. Dr.-Ing. (ZESS) Universitätsprofessor, Paket-Sprecher Zentrum für Sensorsysteme und Lehrstuhl für Computergraphik und Multimediasysteme kolb@zess.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de www.cg.informatik.uni-siegen.de</p>	<p>Otmar Loffeld, Prof. Dr.-Ing. habil. (ZESS) Universitätsprofessor, stv. Paket-Sprecher Projektbereichsleiter Zentrum für Sensorsysteme, und Lehrstuhl für Nachrichtenverarbeitung loffeld@zess.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de www.nv.et-inf.uni-siegen.de/pb2</p>
<p>Peter Haring Bolívar, Prof. Dr.-Ing. (ZESS) Universitätsprofessor Zentrum für Sensorsysteme und Lehrstuhl für Höchstfrequenztechnik und Quantenelektronik haring@zess.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de www.hqe.fb12.uni-siegen.de</p>	<p>Reinhard Koch, Prof. Dr.-Ing. (MIP) Universitätsprofessor Arbeitsgruppe Multimediale Systeme zur In- formationsverarbeitung, Institut für Informatik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel rk@informatik.uni-kiel.de www.mip.informatik.uni-kiel.de</p>
<p>Klaus-Dieter Kuhnert, Prof. Dr.-Ing. (ZESS) Universitätsprofessor Zentrum für Sensorsysteme und Leiter des Lehr- stuhls für Echtzeitlernsysteme kuhnert@fb12.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de www.ezls.fb12.uni-siegen.de</p>	<p>Hartmut Roskos, Prof. Dr. (PI) Universitätsprofessor Physikalisches Institut J.W.-Goethe-Universität Frankfurt und Leiter der Arbeitsgruppe Ultrakurz- zeitspektroskopie und Terahertz-Physik roskos@physik.uni-frankfurt.de www.pi.physik.uni-frankfurt.de/femto/</p>
<p>Klaus Hartmann, Dr.-Ing. (ZESS) Projektbereichsleiter und Geschäftsführer am ZESS hartmann@zess.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de</p>	<p>Wolfgang Weihs, Dr. rer.nat. (ZESS) Projektbereichsleiter am ZESS weihs@zess.uni-siegen.de www.zess.uni-siegen.de</p>
<p>Christof Rezk-Salama, Prof. Dr.-Ing. Hochschule für Mediadesign, Düsseldorf c.rezk-salama@mediadesign-fh.de www.mediadesign-fh.de</p>	<p>Torsten Löffler, Dr. phil. Geschäftsführer SYNVIEW GmbH TL@synview.com www.synview.de</p>

1.3 Beteiligte Institutionen und Antragsteller

Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) Universität Siegen	Multimediale Systeme zur Informationsverarbeitung (MIP) Institut für Informatik Christian-Albrechts- Universität zu Kiel	Ultrakurzzeitspektroskopie und Terahertz-Physik Physikalisches Institut (PI) J.W.-Goethe-Universität Frankfurt
--	--	--

Die Koordination des Antragspaketes lag beim Zentrum für Sensorsysteme der Universität Siegen (ZESS), der Sprecher war Prof. Dr. Andreas Kolb, der stellvertretender Sprecher war Prof. Dr. Otmar Loffeld.

1.4 Thema

Dyn3D: Dynamisches 3D-Sehen

1.5 Berichts- und Förderzeitraum

Förderzeitraum 1.2.2008 – 31.03.2011

1.6 Fach- und Arbeitsrichtung

Die in der zweiten Projektphase geförderten Teilprojekte des Antragspaketes mit den jeweiligen Fachgebieten im Überblick:

Antragstitel	Antragsteller	Arbeitsgebiete
MultiCam: 2D/3D-Multisensorkamera für Echtzeitanwendungen	Loffeld, Hartmann, Weihs	Elektrotechnik, Informatik, Eingebettete Sensorik
2D3DProc: 2D/3D-Datenverarbeitung und -fusion auf Basis der PMD-Technologie	Kolb, Loffeld	Informatik, Signalverarbeitung, Bild- und Sensordatenverarbeitung, Datenfusion, Registrierung
3DPoseMap: 3D-Poseschätzung und 3D-Mapping mittels PMD-Kamera	Koch	Informatik, 3D Bildverarbeitung, Umgebungsmodellierung
PMDLumi: Echtzeit-Akquisition bildbasierter 3D-Modelle zur Objekterkennung	Kolb, Kuhnert, Rezk-Salama	Informatik, Computergraphik, Objekterkennung
3DTHz: 3D Bilderfassung im THz-Frequenzbereich basierend auf elektrooptischer Detektion	Haring, Roskos, Löffler	Photonik, Halbleitertechnik, Terahertz (THz) Technologie, Photonic Mixer Devices, 3D-Sehen

1.7 Zusammenfassende Darstellung des Paketes

Ziel dieses Antragspaketes war die koordinierte Bearbeitung zentraler Aspekte des realen und echtzeitnahen 3D-Sehens auf Basis der PMD¹-Technologie in Kombination mit 2D-Sensoren. Hierbei standen folgende Themenfelder im Vordergrund der Untersuchungen:

- Sensornaher Fragestellungen, wie die hardwaretechnische Optimierung von Multi-Sensorsystemen, z.B. von 2D/3D-Multikameras und von PMD-basierten 3D-THz-Sensoren,
- Probleme der sensornahen dynamisch-interaktiven Verarbeitung von 2D/3D-Multisensordaten,
- die Entwicklung von Grundlagen für dedizierte Anwendungsrichtungen in den Bereichen Lokalisation, Change Detection, Tracking, Modellerfassung, -verfolgung und -rekonstruktion,
- sowie die Nutzung der PMD-Technologie für die Detektion von Strahlung im THz-Bereich.

Aufgrund der engen Vernetzung der Teilprojekte konnten durch den direkten Austausch von Erkenntnissen und Informationen erhebliche Synergieeffekte realisiert werden.

Die Arbeitsgruppe der in dem Paket vertretenen Antragsteller hat sich durch dieses Forschungsprojekt eine sehr große Sichtbarkeit im internationalen Forschungsumfeld erarbeitet.

¹Photonic Mixer Device

Dies wird durch eine sehr gute Publikationslage (Abschnitt 4) einerseits, aber auch durch die Durchführung von Workshops und das Editieren von Sonderbänden u.ä. dokumentiert (Abschnitt 5).

Auf Grundlage des von der DFG geförderten Paketantrags konnte eine große Anzahl weiterer Projekte akquiriert und umgesetzt werden, wodurch die Reputation der beteiligten Forscher weiter gesteigert wurde (Abschnitt 6).

2 Ziele für die zweite Projektphase und wesentliche Arbeitsergebnisse

Die zentralen wissenschaftlichen Ziele des Antragspaketes *Dynamisches 3D-Sehen* und die wichtigsten Arbeitsergebnisse der zweiten Projektphase stellen sich wie folgt dar:

MultiCam: Dieser Teilantrag konzentriert sich auf die hardwaretechnische Realisierung einer monokularen Kombination von Standard 2D CMOS-Sensoren (B/C) und 3D-PMD-Chips inklusive einer hocheffizienten Beleuchtung. Weitere Entwicklungen umfassen die Integration von hardwarebasierten Auswertestrategien in der Systemplattform sowie Untersuchungen mit dem monokularen Aufbau zur kamerainternen Kalibrierung der 2D/3D-Daten. Weiterhin werden neben den Modalitäten 2D-Intensitätsbilder und 3D-Abstandsbilder auch die Multispektral-Informationen der Kamera für die Analyse der Kameraperformance bzw. der Datenqualität der Kamera verwendet.

2D3DProc: Ziel dieses Teilprojektes ist die Untersuchung sensornaher Fragestellungen, wie die Kalibrierung von 3D-PMD-Sensordaten hinsichtlich unterschiedlicher Einflüsse wie Beleuchtung, Bewegung und Signalform, die Tiefenverfeinerung und die Segmentierung der PMD-Tiefendaten. Hierbei werden vornehmlich Ansätze zur Echtzeitverarbeitung erforscht.

In der zweiten Projektphase konnten wesentliche Fortschritte bei der Kalibrierung der PMD-Kameras hinsichtlich beleuchtungsabhängiger Effekte und Bewegungsartefakte erzielt werden. Darüber hinaus wurden Verfahren zur Tiefenverfeinerung mit impliziter Ausreißerunterdrückung und zur hierarchischen Segmentierung entwickelt und untersucht.

3DPoseMap: In diesem Teilprojekt wird die Objekt- und Umgebungsmodellierung mittels eines 2D/3D-Sensors untersucht. Dabei werden verschiedene Algorithmen zur Positionsbestimmung des 2D/3D-Sensors entwickelt und sowohl starre als auch sich deformierende Objekte rekonstruiert und die auftretenden Deformationen parametrisiert. Zur Objektdetektion werden Verfahren zur Segmentierung von dynamischen Objekten entwickelt, die auch für die Kombination von realen und künstlichen Objekten in Mixed Reality Anwendungen zum Einsatz kommen.

PMDLumi: Thema des Teilprojektes ist die echtzeitfähige Akquisition bildbasierter Modelle und die Objekterkennung mittels *Analyse durch Synthese*. Das Ziel der zweiten Projektphase war die Anpassung des bestehenden Verfahrens an variierende Beleuchtungssituationen.

Das grundlegende Speichermodell und die Lumigraph-basierte Bildsynthese wurden

um bildbasierte Reflexionseigenschaften ergänzt, so dass sowohl Aufnahme als auch Bildsynthese von Objekten unter variabler Beleuchtung möglich werden.

Es wurde ein Erkennungssystem realisiert, das mittels *Analyse durch Synthese* ein Objekt erkennt und dessen 3D-Lage im Raum aus dem zweidimensionalen Bild bestimmt. Die modellbasierte Objekterkennung wurde damit deutlich erweitert.

3DTHz: In diesem Teilprojekt wird die Anwendbarkeit der PMD-Kamera als demodulierendes Detektorarray in der elektrooptischen THz-Bildgebung untersucht. Durch diese spektrale Erweiterung der Sensitivität wird ein neues Anwendungsfeld der PMD-Kamera erschlossen. Es konnte eine Erhöhung der Tiefenauflösung auf die sub-mm-Skala gezeigt sowie die laterale Auflösung in der Multipixel-THz-Bildgebung wesentlich verbessert werden. Darüber hinaus wurden einzelne, grundlegende Komponenten und Verfahren der THz-Bildgebung untersucht.

Die Zielsetzungen der Teilprojekte weisen eine enge thematische Kopplung auf, welche in der Bearbeitung der Teilprojekte in vielfältigen Formen der Kooperation umgesetzt wurde.

3 Kooperationen zwischen den Teilprojekten

Durch den sehr engen Informationsaustausch zwischen den Teilprojekten konnten wichtige Synergien erreicht werden, z.B.:

- Das Teilprojekt *MultiCam* konnte eine wichtige Erweiterung zur Synchronisation des Beleuchtungssignals für das Teilprojekt *3DTHz* bereitstellen.
- Das Teilprojekt *MultiCam* stellte erste monokulare 2D/3D-Sensorkombinationen für das Teilprojekt *3DPoseMap* zur Verfügung.
- PMD-Referenzdaten aus dem Teilprojekt *MultiCam* dienen als Grundlage für die Erstellung von Kalibrierungsverfahren im Teilprojekt *2D3DProc*.
- Zwischen den Teilprojekten *3DPoseMap* und *2D3DProc* wurden vielfältig Erfahrungen ausgetauscht und gemeinsam an Kalibrierungstechniken gearbeitet.
- Die in *2D3DProc* und *3DPoseMap* entwickelten Kalibrierverfahren wurden als Basis für weitere Untersuchungen und hardwarenahe Optimierungen in *MultiCam* verwendet.
- Die vom Teilprojekt *2D3DProc* aufbereiteten 2D/3D-Daten wurden für zur Echtzeit-Akquisition von Lichtfelddaten im Teilprojekt *PMDLumi* verwendet.

4 Publikationen und Promotionen

Im Rahmen der zweiten Projektphase wurden folgende Publikationen und Promotionen realisiert:

Publikationsarten	MultiCam	2D3DProc	3DPoseMap	PMDLumi	3DTHz
Artikel in Journalen	1	1	3	4	5
Peer-Reviewed Konferenzen	7	4	7	6	8
Sonstige Publikationen	2	0	3	3	1
Abgeschl. Dissertationen	1	1	0	1	0

5 Workshops, Editorentätigkeit, übergreifende Veröffentlichungen und Vorträge

Im Kontext der PMD-Technologie wurden eine Reihe von Workshops veranstaltet, sowie außerordentliche Veröffentlichungs- und Editorentätigkeiten durchgeführt.

5.1 Workshops

Time-of-Flight Camera based Computer Vision, CVPR, Anchorage, USA, 2008: Dieser Workshop auf der internationalen Konferenz *Computer Vision & Pattern Recognition* wurde von Prof. Rasmus Larsen, DTU Kopenhagen, und Dr. Erhardt Barth, Universität Lübeck, initiiert und in Kooperation mit Prof. Kolb durchgeführt. Zu dem Workshop wurden 29 Beiträge eingereicht, wovon 19 Beiträge nach der Begutachtung durch ein internationales Programmkomitee angenommen wurden. Der Tagungsband wurde von der IEEE mit den drei genannten Organisatoren als Herausgeber verlegt [Larsen et al. 2008].

Workshop Dynamic 3D Imaging, DAGM, Jena, 2009: Die zweite Auflage des Workshops *Dynamic 3D Imaging* fand nach der ersten Veranstaltung in Heidelberg 2007 am 9. September in Jena statt. Wissenschaftlich deckt der Workshop die gesamte Bandbreite des Forschungspakets ab, ist darüber hinaus aber auch für alternative bildgebende 3D-Technologien und für beliebige Anwendungsfelder geöffnet. Zum Workshop wurden 23 Beiträge eingereicht, wovon nach einem Reviewing-Verfahren durch ein internationales Programmkomitee 13 Artikel zur Veröffentlichung in einem Springer LNCS-Band [Kolb und Koch 2009] angenommen wurden. Die Projektleiter Prof. Koch und Prof. Kolb haben den Workshop ausgerichtet und den Tagungsband herausgegeben.

Time-of-Flight Imaging: Algorithms, Sensors and Applications, Dagstuhl-Seminar, 2012: Unter der Federführung von Prof. Christian Theobalt, MPI Saarbrücken, Mitantragsteller Prof. Kolb, wurde das Dagstuhlseminar beantragt und genehmigt, welches vom 22. bis 26. Oktober 2012 bis zu 45 international renommierte Forscher im Bereich Time-of-Flight Imaging nach Schloss Dagstuhl einladen wird.

5.2 Übergreifende Veröffentlichungen und Vorträge

PMD[vision] Day, München, 2008: Am 18. November 2010 wurde der zweite Workshop dieser Art in München von der Firma PMDTechnologies GmbH, Siegen, durchgeführt. Mehr als hundert Teilnehmer haben die Vorträge besucht. Der Beitrag von Prof. Kolb [Kolb 2008] wurde hierbei vom Publikum als bester Beitrag bewertet.

Time-of-Flight Cameras in Computer Graphics, 2009, 2010: Um das Thema der Time-of-Flight- bzw. der PMD-Kameras verstärkt in den Bereich Computergraphik einzubetten, haben Prof. Koch und Prof. Kolb in Zusammenarbeit mit Dr. Erhardt Barth, Universität Lübeck, und Prof. Rasmus Larsen, DTU Kopenhagen, einen *State-of-the-Art*-Report für die Eurographics Konferenz 2009 in München zur Präsentation eingereicht. Nach der Annahme und der Präsentation des Reports [Kolb et al. 2009] wurden die Autoren aufgefordert, einen Überblicksartikel zu dem Thema zum *Computer Graphics Forum Journal* einzureichen, der in 2010 akzeptiert und veröffentlicht wurde [Kolb et al. 2010].

Time-of-Flight Camera based Computer Vision, Special Issue of Computer Vision and Image Understanding, Elsevier, 2010: Im Nachgang zu diesem gleichnamigen CVPR-Workshop [Larsen et al. 2008] wurde von den Veranstaltern des Workshops, Prof. Rasmus Larsen, DTU Kopenhagen, Dr. Erhardt Barth, Universität Lübeck, und Prof. Kolb ein offener Call-for-Papers zu einem Sonderband des Springer Journals *Computer Vision and Image Understanding* verfasst. Ein internationales Reviewing-Komitee hat aus den 16 eingereichten Beiträge nach einem doppelten Reviewing-Zyklus 8 Artikel zur Veröffentlichung angenommen [Larsen et al. 2010].

PMD[vision] Day, München, 2010: Am 18. November 2010 hat in München der dritte PMD[vision] Day stattgefunden. Mehr als hundertfünfzig Teilnehmer haben die Vorträge besucht, die u.a. von Prof. Koch [Koch 2010] und von Prof. Kolb [Kolb 2010] gehalten wurden.

6 Synergien und weiterführende Projekte

Das durchgeführte Forschungspaket Dyn3D hat sich hinsichtlich der Nutzung der erarbeiteten Ergebnisse in weiterführenden Forschungsprojekten als sehr fruchtbar erwiesen. Nachstehende Projekte können zumindest in Teilen als thematische Fortführung des Dyn3D-Pakets betrachtet werden.

BMBF-Projekt Lynkeus (2006–2009): Dieses Verbundprojekt wurde unter Einbeziehung von 15 Partnern Mitte 2006 gestartet. Ziel war die Entwicklung und Umsetzung mikrointegrierter 3D-Echtzeitkamarasysteme auf Basis der PMD-Technologie für die intelligente Umgebungserfassung mit Anwendungsschwerpunkt in der Industrierobotik und bei autonomen Fahrzeugen.

EU-Projekt „3D4YOU“ (2008–2010): Dieses EU-Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung aller Komponenten für das 3D Fernsehen der nächsten Generation. Dazu gehören Aufnahme, Kodierung, Übertragung und Anzeige. Aufgrund der Erfahrungen mit PMD-Kameras aus 3DPoseMap wurden diese Kameras in diesem Projekt evaluiert und sehr erfolgreich zur Aufnahme von 3D Szenen eingesetzt.

BSI-Projekte „Personen- u. Objektdetektion mit mobilen Sensoren (PomSe)“ (2008–2009) und „Sichere Detektion und Lokalisation in kritischen Arealen durch klassifizierende drahtlose Sensornetze (MOVEDETECT)“ (2010–2011): Wesentliche Aspekte in den beiden zusammenhängenden Projekten sind die multimodale und multi-spektrale Detektion, Klassifikation und das Tracking von Personen und Fahrzeugen in einem größeren Außen-Areal. In den Projekten werden kooperative Vernetzung und Auswertung der Daten mehrerer 2D/3D- und 3D-Kameras in Verbindung mit Thermal-Kamera und PIR-Sensoren untersucht und für den Anwendungsbereich als Modalitäten in das Gesamtprojekt des Sensornetzwerks eingebracht.

Hightech.NRW Projekt „Flughafen-Start- und Landebahnüberwachung durch multimodale, vernetzte Sensorik (LaotSe)“ (2009–2011): In diesem Projekt ist die Weiterentwicklung der Kamerasystemtechnik zu einer Weitbereichskamera ein wesentlicher Aspekt. Es werden mehrere Weitbereichskameras zusammen mit mehreren Radarsensoren in einem Netzwerk integriert. Die kooperative, multimodale Detektion und Lokalisierung von Fremdkörpern ist die wesentliche Zielsetzung des Projekts in dem eine Universität, zwei Forschungsinstitute (Fraunhofer) und zwei Firmen zusammen arbeiten.

DFG Graduiertenkolleg 1564 „Imaging New Modalities“ (2009–2014): Das GRK 1564 befasst sich mit der Entwicklung neuer Sensortechnologien und -systeme im Kontext der zivilen Sicherheit. Die PMD-basierte Entfernungssensorik spielt hierbei in Form der Erfassung komplexer Szenen eine zentrale Rolle. Im Zentrum steht sowohl die Entwicklung eines Multi-Kamera-Systems, als auch die Verarbeitung und Integration der parallel akquirierten PMD-Tiefendaten.

BMW ZIM-Projekt „Entwicklung einer berührungslosen Erfassung von Fahrzeugkonturen zur Steuerung von Kfz-Waschanlagen auf Basis von PMD-Sensoren“ (2010–2011): Ziel dieses Projektes ist die Erfassung der Geometrie eines Fahrzeuges zur Optimierung des Waschvorgangs in Autowaschanlagen. Hierbei wird die Fahrzeuggeometrie mit Hilfe eines Multi-PMD-Sensor-Aufbaus erfasst und in Echtzeit rekonstruiert.

INTERREG 4A- Projekt „IRFO“ (2010–2012): Dieses Projekt mit internationaler Beteiligung, welches auf den Ergebnissen und Erfahrungen aus 3DPoseMap aufbaut, beschäftigt sich mit der automatisierten Verarbeitung von flexiblen Lebensmitteln. Die PMD-Technik wird hierbei für die Erfassung der Deformation der verarbeiteten Lebensmittel eingesetzt.

Literatur

- [Koch 2010] KOCH, R., 2010. Time-of-Flight cameras for 3D-TV and augmented reality applications. Presentation at the PMD[vision] Day.
- [Kolb et al. 2009] KOLB, A., BARTH, E., KOCH, R., UND LARSEN, R. 2009. Time-of-Flight sensors in computer graphics. In *Eurographics (State-of-the-Art Report)*, The Eurographics Association, 119–134.
- [Kolb et al. 2010] KOLB, A., BARTH, E., KOCH, R., UND LARSEN, R. 2010. Time-of-Flight cameras in computer graphics. *Computer Graphics Forum* 29, 1, 141–159.
- [Kolb und Koch 2009] KOLB, A., UND KOCH, R., Eds. 2009. Dynamic 3D Imaging, vol. 5742 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Springer.
- [Kolb 2008] KOLB, A., 2008. Kalibrierung und 2D/3D Bildverarbeitung mit dem PMD-Sensor. Presentation at the PMD[vision] Day.
- [Kolb 2010] KOLB, A., 2010. Capturing and accumulation of PMD sensor data. Presentation at the PMD[vision] Day.
- [Larsen et al. 2008] LARSEN, R., BARTH, E., UND KOLB, A., Eds. 2008. Proc. Workshop Time-of-Flight camera based computer vision (TOF-CV), IEEE.
- [Larsen et al. 2010] LARSEN, R., BARTH, E., UND KOLB, A., 2010. Time-of-Flight camera based computer vision. Special Issue of Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 114, No. 12, Springer.