

visIT

[3-D]

Essay – Graphics meets Vision –
Deformierbare 3-D-Modelle

Mehrfacher Lichtschnitt
3-D in der Blisterprüfung

Optimierte Fahrbahn –
3-D-Erfassung des Fahrverhaltens

Glänzende Einsichten –
Deflektometrie zur Inspektion
spiegelnder Oberflächen

Dreidimensionale Gesten
– Multimodale Display-
übergreifende Interaktion

Das Dritte Auge - Wenn Hände
sehen können

2/2008

www.iitb.fraunhofer.de

ISSN 1616-8240



Fraunhofer
Institut
Informations- und
Datenverarbeitung

Impressum

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer

Redaktion
Sibylle Wirth

Layout und graphische Bearbeitung
Christine Spalek

Druck
Engelhardt und Bauer
Karlsruhe

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Informations- und Datenverarbeitung IITB

Fraunhoferstr. 1
76131 Karlsruhe
Telefon +49 721 6091-300
Fax +49 721 6091-413
presse@iitb.fraunhofer.de

© Fraunhofer IITB
Karlsruhe 2008

ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft
zur Förderung der angewandten
Forschung e. V. München

9. Jahrgang
ISSN 1616-8240

Bildnachweis

Deckblatt © CorelDraw

Personen Fotos
indigo Werbefotografie

Fraunhofer IITB

Nachdruck, auch auszugsweise,
nur mit vollständiger Quellenangabe und
nach Rücksprache mit der Redaktion.

Belegexemplare werden erbeten.

Inhalt

Essay

Seite 4 **Graphics meets Vision – Deformierbare 3-D-Modelle**
Astrid Laubenheimer

Themen

Seite 6 **Mehrfacher Lichtschnitt 3-D in der Blisterprüfung**
Robin Gruna, Kai-Uwe Vieth

Seite 8 **Optimierte Fahrbahn – 3-D-Erfassung des Fahrverhaltens**
Thomas Müller, Marc Höpken

Seite 10 **Glänzende Einsichten – Deflektometrie zur Inspektion
spiegelnder Oberflächen**
Stefan Werling, Michael Heizmann

Seite 12 **Dreidimensionale Gesten – Multimodale Display-
übergreifende Interaktion**
Thomas Bader

Seite 14 **Das Dritte Auge - Wenn Hände sehen können**
Moritz Ritter, Giulio Milighetti

Liebe Freunde des IITB,

unsere Umwelt ist dreidimensional und unsere Sinne haben sich darauf eingestellt: Wir greifen zielsicher Objekte und schätzen Größen und Entfernungen. Dabei nutzen wir für die dreidimensionale Erfassung unserer Umwelt oft nicht mehr als vier – hochleistungsfähige – Sensoren: unsere Augen und Ohren. Unbestritten, mit der Vielseitigkeit der menschlichen Wahrnehmung können künstliche Sensorsysteme bei weitem nicht konkurrieren. Andererseits bestechen künstliche Sensorsysteme durch nicht nachlassende Konzentration und mitunter mit extrem hohen Messgenauigkeiten.

Fakt ist, heute lassen sich in nahezu jeder Branche Systeme finden, die aus unterschiedlichster Sensorik räumliche Daten akquirieren und die daraus gewonnenen Informationen gewinnbringend nutzen. Mit diesem Heft wollen wir Ihnen einen Streifzug entlang unserer Systeme bieten, die dreidimensionale Daten erfassen, verarbeiten und nutzbar machen. Kurz, wir bieten Ihnen einen Blick in unsere Systeme, die das Prädikat »3-D-inside« verdienen.

Der Aufsatz »Graphics meets Vision« von Dr. Astrid Laubenheimer schlägt gleich zu Beginn eine Brücke von Sensorsystemen zu einer der vielen Disziplinen, die der 3-D-Signalverarbeitung sehr nahe stehen, namentlich der Computergrafik. Im anschließenden Beitrag »Optimierte Fahrbahn« greifen Marc Höpken und Dr. Thomas Müller diesen Brückenschlag mit einem 3-D-modellbasierten Ansatz zur Fahrzeugverfolgung auf. Sie beschreiben auch, welche Rolle ihr Verfahren bei der Optimierung straßenbaulicher Maßnahmen spielen wird.

Moritz Ritter und Dott.-Ing. Giulio Milighetti springen mit ihrem Beitrag »Das dritte Auge« in den Kontext eines humanoiden Robotersystems, das sie um ein drittes Auge in der Handfläche bereichert haben. In seinem Beitrag »Dreidimensionale Gesten« beschäftigt sich Thomas Bader ebenfalls mit Händen, allerdings mit menschlichen Händen: Gesten sind hier der Schlüssel zur multimodalen, display-übergreifenden Interaktion.

Interaktionslos, also voll automatisiert, runden die letzten beiden Beiträge den Streifzug ab: Die Ausführungen in »Mehrfacher Lichtschnitt« von Robin Gruna und Dr. Kai-Uwe Vieth zeigen, wie Tiefeninformation effizient fusioniert werden kann. Abschließend stehen »Glänzende Einsichten«, ein Beitrag von Stefan Werling und Dr. Michael Heizmann, die mit ihrem deflektometrischen Ansatz in der Lage sind, spiegelnde Oberflächen zu inspizieren.

Karlsruhe, im Oktober 2008
Jürgen Beyerer

Editorial



Jürgen Beyerer

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Beyerer'.

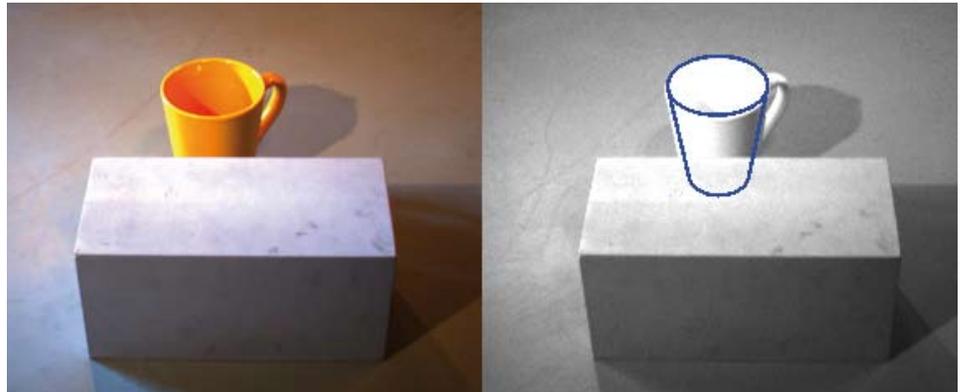


Abb. 1: Mehrdeutigkeiten durch Verdeckung: Die Tasse ist teilweise verdeckt. Die Position kann mit Hilfe eines CAD-Modells dennoch bestimmt werden (rechts dargestellt durch blaue Konturen).

Der Slogan »Graphics meets Vision« wurde Ende der 90er Jahre in wissenschaftlichen Kreisen geprägt und indiziert seither das Zusammenwachsen zweier Disziplinen: Die mehr oder minder künstliche Grenze zwischen Maschinensehen (*computer vision*) einerseits und Computergrafik (*computer graphics*) andererseits weicht seit den 90er Jahren mehr und mehr auf.

Einen entscheidenden Schub für das Zusammenrücken dieser beiden Fachgebiete gaben die Computergrafiker, die sich Methoden des Maschinensehens zu Nutze machten, um Elemente der realen Welt dreidimensional zu erfassen und für die 3-D-Darstellung in multimedialen Anwendungen zu nutzen. Etwa zeitgleich begannen Wissenschaftler und Ingenieure, den umgekehrten Weg zu gehen und Methoden der Computergrafik für das maschinelle Sehen zu nutzen. Motivation und Triebfeder dieser Bewegung war der Wunsch, aus Videobildern Wissen über räumliche Zusammenhänge und Eigenschaften der realen Welt zu gewinnen.

Ein mittlerweile klassisches Anwendungsbeispiel ist die Berechnung der Position von Objekten in der Realwelt aus Videobildern: CAD-Modelle werden – z. B. via numerischer Optimierungsverfahren – solange verschoben und gedreht, bis ein virtuelles Abbild der Objektmodelle möglichst gut mit dem Videobild übereinstimmt. Einer der zahlreichen Vorteile dieser Methode ist, dass Verdeckungen besser aufgelöst werden können als durch eine modellfreie Bildanalyse.

Auf der anderen Seite setzt die modellbasierte Bildanalyse voraus, dass von den relevanten Objekten CAD-Modelle zur Verfügung stehen. Für eine Reihe von Anwendungen ist die Bereitstellung aller benötigten Modelle erfüllbar. Dies gilt insbesondere für Aufgaben in kontrollierten Umgebungen, wie z. B. für Aufgaben im Bereich der Produktions- und Fertigungsüberwachung. In weniger kontrollierbaren Umgebungen ist die Verfügbarkeit von CAD-Modellen jedoch nur bedingt gelöst. Betrachtet man etwa den Alltagsgegenstand



Dr. Astrid Laubenheimer

Autonome Systeme und
Maschinensehen
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-411
astrid.laubenheimer@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/ASM

KONTAKT

Modelle



Abb. 2: In den meisten Haushalten befinden sich verschiedene Tassen, hier in 22 verschiedenen Formen.

»Kaffeetasse«, so lässt sich schnell feststellen, dass Kaffeetassen in nahezu unüberschaubaren Formvarianten existieren. Abhilfe schafft hier die Verwendung von *deformierbaren CAD-Modellen*, also von solchen Modellen, deren Form manipulierbar ist [1]. Um bei dem Beispiel der Kaffeetassen zu bleiben, bedeutet das, CAD-Modelle zu verwenden, deren Durchmesser und Form (z. B. die Konizität) variabel einstellbar sind. Für Anwendungen des maschinellen Sehens

sind diese Modelle insofern geeignet, als dass sich aus Videobildern simultan zur Position auch die Form des abgebildeten Objekts berechnen lässt [2].

Für die Konstruktion solcher Modelle stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung:

Vergleichsweise einfache Objekte wie Kaffeetassen lassen sich durch Vorgabe möglicher Deformierungen aus einem einzigen »Basismodell« erstellen.

Objekte mit komplexer Formvariation, wie z. B. Fahrzeuge oder Flugzeuge werden aus mehreren CAD-Modellen erzeugt, wobei eine solche automatische Modellkonstruktion einige algorithmische Kunstgriffe aus dem Bereich des geometrischen Modellierens erfordert.

Das Fahrzeugmodell in Abbildung 3 zeigt, dass die Parameter deformierbarer Modelle mitunter semantisch interpretiert werden können:

Die Mittelung zwischen einem Mini-Van (Nissan Quest) und einer Limousine (VW Jetta) hat die Gestalt eines Fließhecks. Diese Eigenschaft wiederum schafft eine weitere Verknüpfung zwischen *graphics* und *vision*:

Deformierbare Modelle besitzen sowohl Potenzial für die semantische Modellierung als auch für die semantische Bildanalyse.

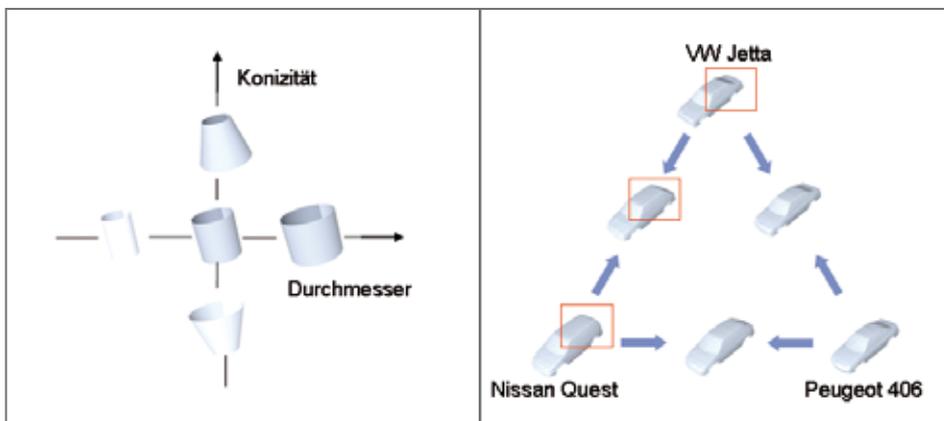


Abb. 3: Beispiele für deformierbare Modelle. Links: Ein deformierbares Tassenmodell – erzeugt aus einem einzigen »Basismodell«. Rechts: Ein deformierbares Fahrzeugmodell – erzeugt aus drei Basismodellen, die hier in den Ecken des Dreiecks abgebildet sind. Die Modelle auf den Seitenmitten des Dreiecks zeigen Mittelungen aus diesen Basismodellen.

Literatur:

[1] A. Laubenheimer, S. Richter und K. Kroschel. 3D Pose and Shape Estimation with Deformable Models in Lifelike Scenes. In *Proceedings of Humanoids 2007*, Pittsburgh, PA, 2007.

[2] A. Laubenheimer. Automatische Registrierung adaptiver Modelle zur Typerkennung technischer Objekte. Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH). 2004.

Themen



Dipl.-Inform. Robin Gruna

Sichtprüfsysteme
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-263
robin.gruna@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/SPR



Dr. rer. nat. Kai-Uwe Vieth

Sichtprüfsysteme
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-279
kai-uwe.vieth@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/SPR

Mehrfacher Lichtschnitt 3-D in der Blisterp

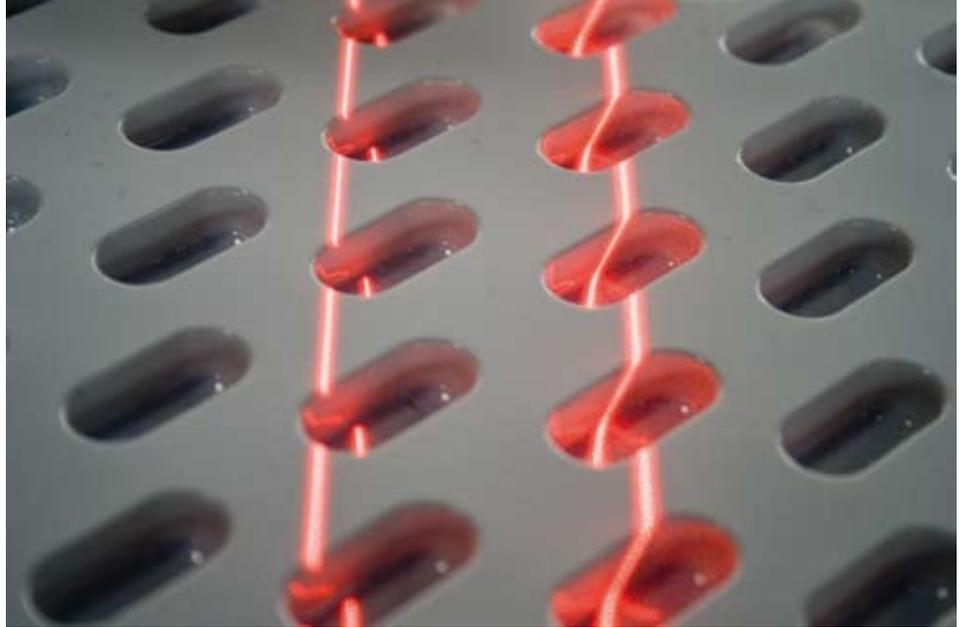


Abb. 1: Abtastung einer Blisterpackung mit zwei sich gegenüberliegenden Lasern. Der Verlauf der Lichtlinie hängt von der Objekttopografie ab und wird mit einer Spezialkamera direkt in ein Höhenprofil umgerechnet. An den Kanten auftretende Reflexionen können zu fehlerhaften Messungen des Höhenprofils führen.

Blister (blister, engl., Blase) sind Verpackungen mit Vertiefungen, die bei pharmazeutischen Produkten weit verbreitet sind. Sie schützen das Medikament vor äußeren Einflüssen wie z. B. Schmutz oder hoher Luftfeuchtigkeit und können durch einfaches Erkennen der Restzahl oder einen aufgedruckten Einnahmeplan die kontrollierte und korrekte Dosierung erleichtern. In der pharmazeutischen Industrie gelten deswegen hohe Qualitätsanforderungen an die Blisterverpackungen von Medikamenten.

Das Fraunhofer IITB hat umfangreiche Erfahrungen mit der Entwicklung automatischer Sichtprüfsysteme für die Qualitätssicherung pharmazeutischer Blisterverpackungen. Traditionelle Blisterinspektionssysteme setzen auf die Aufnahme und Auswertung zweidimensionaler Farbbilder, die sich gut für die

Detektion leerer oder falsch befüllter Blister eignen. Auch beschädigte oder falsch positionierte Tabletten können mit diesem Verfahren gut aufgefunden werden. Für die visuelle Kontrolle anspruchsvollerer pharmazeutischer Produkte, wie z. B. die Verpackung pulverförmiger Medikamente in Blistern, gewinnen jedoch zunehmend dreidimensionale Bildgewinnungs- und Auswerteverfahren an Bedeutung. Mit diesen kann beispielsweise die Höhe des in den Blister eingefüllten Pulvers ermittelt und das korrekte Befüllungsgewicht überprüft werden. Hier gelangen herkömmliche In-Prozess-Wägeverfahren aufgrund der erforderlichen Genauigkeit und der hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit deutlich an ihre Grenzen.

Die Abteilung Sichtprüfsysteme hat begonnen, ein Verfahren für die dreidimensionale Sichtprüfung von Blister-

rüfung

packungen zu entwickeln, das auf dem Lichtschnittverfahren basiert. Mit diesem Verfahren kann die Oberfläche eines Objektes dreidimensional erfasst werden, indem eine Lichtlinie auf das Prüfobjekt projiziert wird und diese mit einer Flächenkamera unter einem Winkel zur Projektionsrichtung aufgenommen wird. Als Lichtquelle dient ein Laser, der eine Lichtlinie mit einem, von der Objekttopologie abhängigen, Verlauf erzeugt, aus dem schließlich mittels Triangulation die Höhe des Prüfobjekts ermittelt werden kann. Durch Bewegung des Objekts durch die Lichtlinie, z. B. mit Hilfe eines Fließbandes, können so Höheninformationen der gesamten Objekt Oberfläche gewonnen werden.

Es existieren Spezialkameras, welche den Verlauf der Lichtlinie direkt auswerten und das Höhenprofil übertragen. Mit dieser Technologie eignet sich das Lichtschnittverfahren hervorragend für die schnelle Erfassung der Topografie eines Prüfobjektes bei geforderten Geschwindigkeiten von bis zu 1,7 m/s mit hohen Auflösungen. Aufgrund der räumlichen Lage von Lichtquelle und Kamera sowie der Objektgeometrie können jedoch Abschattungen des Lasers auftreten, an deren Position Lücken in dem Höhenprofil auftreten. Im System des IITB, das zum Patent angemeldet ist, wird dieses Problem durch die Verwendung zweier gegenüberliegender Laser gelöst, wodurch die Abschattungsbereiche erheblich reduziert werden. In diesem Fall ermöglicht jeder Laser die Gewinnung von Höheninformationen in Bereichen, die aus einem anderen Blickwinkel sichtbar werden. Die Herausforderung liegt nun in der Entwicklung echtzeitfähiger Algorithmen, mit denen die verschie-

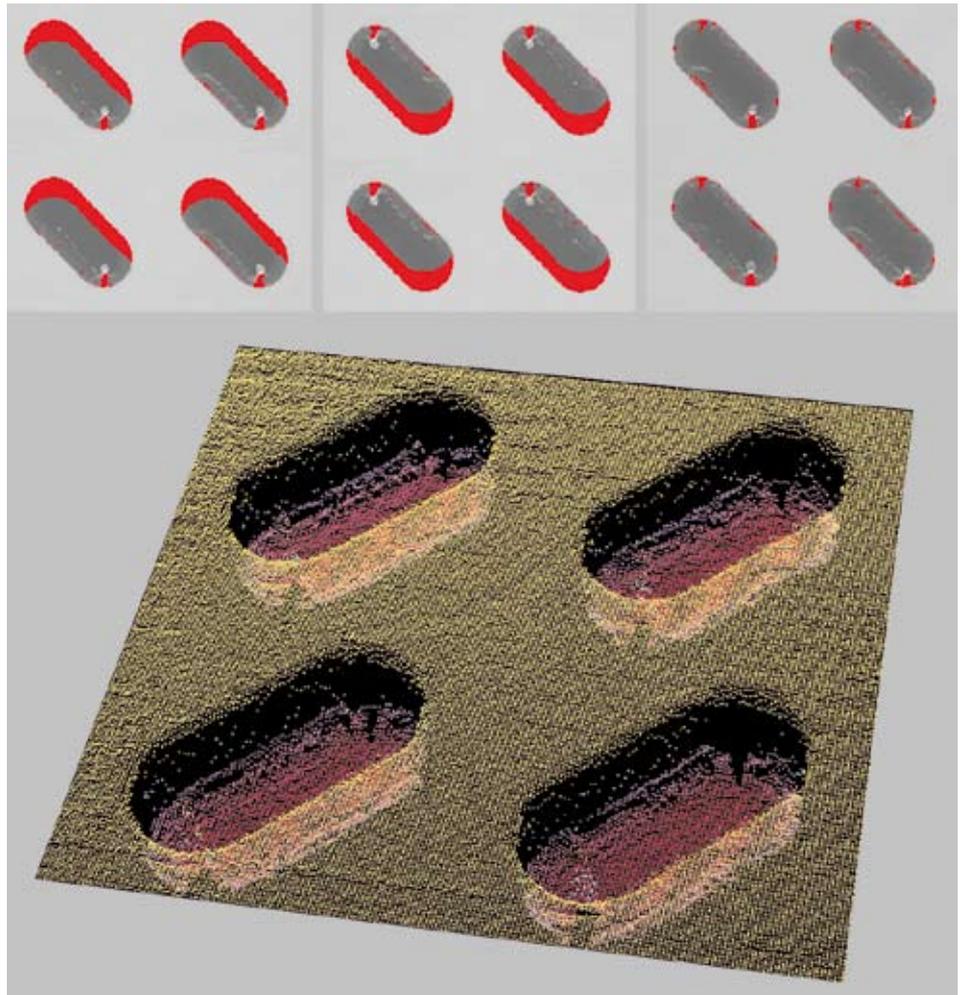


Abb. 2: **Oben** Mit dem Lichtschnittverfahren erstellte grauwertkodierte Tiefenkarten einer Blisterpackung. Links und in der Mitte sind Tiefenkarten dargestellt, die mit Hilfe zweier gegenüberliegender Laser mit gleichem Einstrahlwinkel aufgenommen wurden. In den rot markierten Bereichen liegen keine Höheninformationen vor, da die Laser hier abgeschattet wurden oder eine Messung aufgrund von Reflexionen nicht möglich war. Durch die Fusion beider Tiefenkarten werden die Bereiche ohne Höheninformationen reduziert (rechts). **Unten** Darstellung der fusionierten Höheninformationen als dreidimensionale Punktwolke.

denen Höheninformationen zu einem einzigen 3-D-Höhenprofil verschmolzen werden können. Aus den fusionierten Höheninformationen kann dann das Volumen der Blisterbefüllung berechnet und ein falsch befüllter Blister klassifiziert werden.

Das bestehende Blisterinspektionssystem VisioChrom HR des Geschäftsfeldes Sichtprüfsysteme erkennt Vertauschungen, Verunreinigungen und defekte Tabletten allein durch hoch aufgelöste 2-D Farbbilder. Ein 3-D Prüfsystem ist eine sinnvolle Erweiterung aber kein vollständiger Ersatz des VisioChrom HR. Daher wäre eine der zukünftigen Auf-

gaben, neben der Miniaturisierung des Experimentalaufbaus, die Farbinformation ohne zusätzliche Kamera zu extrahieren. Da die verwendete 3-D Kamera neben dem Flächensensor zur Auswertung der Laserposition ergänzend eine hochauflösende Grauzelle besitzt, könnte diese in Kombination mit wechselnder Beleuchtung für eine Farbauswertung genutzt werden.

Literatur:

Jörn Merwitz, *Reduktion von Abschattungsbereichen bei der Anwendung des Lichtschnittverfahrens*, Hochschule Karlsruhe, Diplomarbeit, 2008
Jan Vogelgesang, *Fusion der Tiefeninformation mehrerer Lasertriangulationssensoren*, Universität Karlsruhe, Studienarbeit, 2008

Themen



Dr.-Ing. Thomas Müller

Autonome Systeme und
Maschinensehen
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-458
thomas.mueller@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/ASM



Dipl.-Ing. Marc Höpken

Autonome Systeme und
Maschinensehen
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-490
marc.hoepken@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/ASM

Optimierte Fahrbahn – 3-D-Erfassung des Fahrverhaltens Trassenoptimierung mit dreidimensionalen Modellen

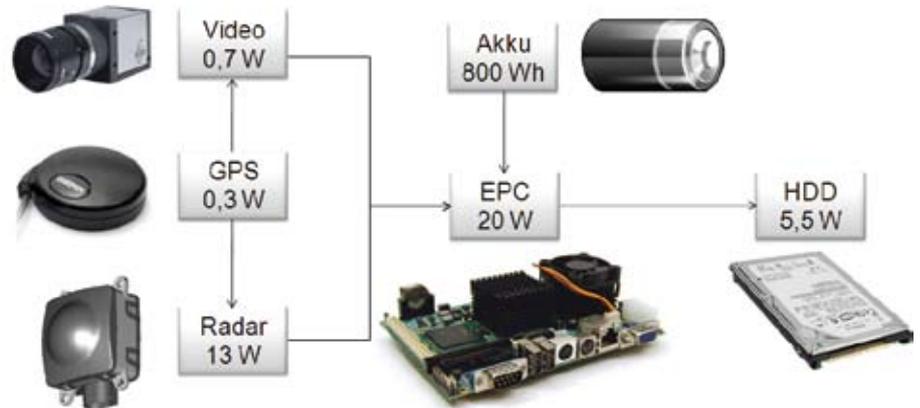


Abb. 1: Komponenten des Sensorsystems und ihre Leistungswerte.

Straßenbauliche Maßnahmen wirken sich direkt auf das Fahrverhalten und damit auf die Verkehrssicherheit aus. So kann z. B. durch die Neigung der Trasse beeinflusst werden, ob eine Kurve bevorzugt geschnitten wird oder nicht.

Um derzeit tatsächliches Fahrverhalten aufzunehmen, führt z. B. ein Messfahrzeug »Verfolgungsfahrten« zur Ermittlung von Geschwindigkeitsprofilen durch. Eine Erfassung der Spurführung ist dabei schwierig. Der Aufwand beschränkt die Zahl der beobachteten Fahrzeuge und damit die statistische Aussagekraft. Zudem wird das Messfahrzeug vom beobachteten Fahrer wahrgenommen, was dessen Verhalten beeinflussen kann. Alternative Erfassungsmethoden sind bisher ähnlich problematisch.

In Kooperation mit dem Projektpartner Institut für Straßen- und Eisenbahnenwesen (ISE) der Universität Karlsruhe (TH) hat das IITB zur Erfassung von Fahrverhalten einen neuen, innovativen Lösungsansatz geschaffen.

Der neue Lösungsansatz

Mit einem stationären Sensorsystem werden an ausgesuchten Streckenabschnitten von allen interessierenden Fahrzeugen monokulare Videodaten mit einer kalibrierten Kamera aufgezeichnet. Offline wird aus jedem Videobild mit Hilfe eines CAD-Kfz-Modells die 3-D Position des aufgenommenen Fahrzeugs ermittelt.

Das Sensorsystem

Zur unkomplizierten Installation des Sensorsystems an beliebigen Streckenabschnitten wurde zur Datenerfassung ein eingebettetes Rechnersystem für den Inselbetrieb entwickelt, welches besonders sparsam mit Energie und Speicherplatz umgeht (Abb. 1). Neben dem Videosensor kommt zusätzlich ein Radarsensor zum Einsatz, der Abstand und Geschwindigkeit misst und Steuerinformationen für die Videodatenaufnahme liefert. So werden nur die interessierenden, so genannten frei fahrenden, Fahrzeuge ausgewählt und dadurch der Speicherplatz optimal genutzt.

Fahrverhaltens

Ein GPS-Empfänger liefert die geographische Position des Aufzeichnungsortes und ein Zeitgeber generiert Zeitstempel für die Video- und Radardaten zur korrekten Datenfusion. Alle Daten werden vor der Speicherung verschlüsselt.

Die Datenauswertung

Im ersten, vorbereitenden Schritt der Datenauswertung wird ein 3-D Modell der Straße in die Bilddaten eingepasst (in Abb. 2 grün gekennzeichnet). Hierzu werden dem Benutzer einige wenige Punkte des Straßenmodells präsentiert, zu denen er jeweils die entsprechenden Bildpunkte anklickt.

Nach Vorgabe des Fahrzeugtyps durch den Benutzer wird ein entsprechendes 3-D Fahrzeugmodell ins Kamerabild projiziert und mit den aus dem Bild extrahierten Bildkanteninformationen zur Übereinstimmung gebracht (in Abb. 2 rot gekennzeichnet). Ein Algorithmus, der ursprünglich zur Verfolgung realer Gegenstände in einer Augmented Reality-Umgebung im theater-technischen Projekt MQUBE entwickelt wurde [1], liefert dabei für jedes Bild eine 3-D Position in der Szene. Über die Bildsequenz hinweg entsteht so eine Trajektorie, die den Fahrverlauf des Kraftfahrzeugs erfasst.

Der Algorithmus basiert auf einem hierarchisch organisierten RANSAC-Ansatz [2],[3], bei dem diverse Lagehypothesen generiert und mit einer robusten Gütefunktion [4] bewertet werden. Das dabei durchgeführte Random Sampling realisiert eine Unterscheidung zwischen Objektkanten und szeneninhärent möglichen Verwechslungen (verursacht z. B.

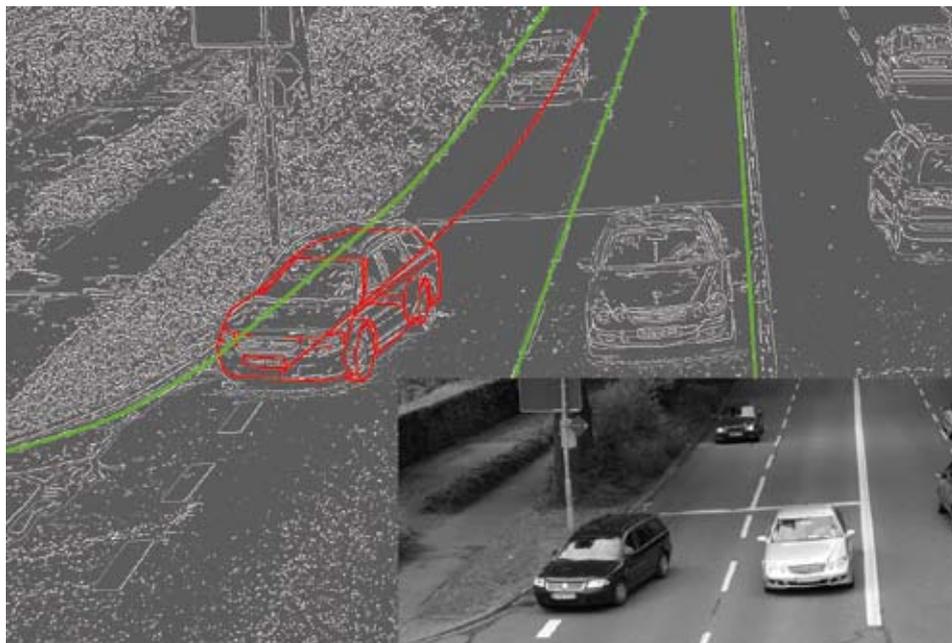


Abb. 2: Originalbild und Kantenbild überlagert mit 3-D Pkw-Modell und Straßenmodell.

durch Schattenkanten, Licht- und Glanzeffekte, Verschmutzungen, Modellabweichungen etc.).

Gegenstand laufender Arbeiten [5] ist nun eine Verfahrensbeschleunigung durch Einschränkung des Suchraums. Dazu werden die Video- und Radardaten zeitlich genau referenziert, sodass die Abstandsmessung des Radars als Richtwert für die videobasierte Schätzung der Translation längs zur Fahrbahn herangezogen werden kann. Zudem lassen sich anhand des Straßenmodells die Translation senkrecht zur Fahrbahn sowie Nick-, Gier- und Wankwinkel des Fahrzeuges einschränken.

Zusammenfassung und Ausblick

Das System zeichnet sich durch einen minimalen interaktiven Aufwand während der Mess- und Positionserfassungsphase aus und ermöglicht eine entsprechend hohe Anzahl an erfassten Fahrzeugspuren. Es eröffnet damit die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen Straßengestaltung und Fahrverhalten mit begrenztem Aufwand sys-

tematisch zu untersuchen und daraus Modelle für eine Optimierung der Straßengestaltung zu entwickeln.

Erste Projekte, die von den neuen Möglichkeiten Gebrauch machen, sind »Modellierung des Fahrverhaltens an Kurven« und »Festlegung der Einsatzbereiche für Rampentypen« des ISE im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

Referenzen:

- [1] Projekt MQUBE: <http://www.iitb.fraunhofer.de/servlet/is/10523> und <http://www.fit.fraunhofer.de/projects/mixed-reality/mqube.html>.
- [2] Medioni, Gerard (Ed.): Emerging topics in computer vision. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2005, XIX, 661 Seiten.
- [3] M. A. Fischler, R. C. Bolles: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Communications of the ACM, Vol 24, 1981, Seiten 381-395.
- [4] Th. Müller: Modellbasierte Lokalisation und Verfolgung für sichtsystemgestützte Regelungen. Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH), 8. Februar 2001, 177 Seiten. Elektronisch veröffentlicht unter <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/documents/1236>.
- [5] F. Häfner: Diplomarbeit. Hochschule Karlsruhe - Wirtschaft und Technik, 2008

Themen



Dipl.-Ing. Stefan Werling

Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme, Institut für Technische Informatik, Universität Karlsruhe (TH)

Telefon +49 721 608-5915
werling@ies.uni-karlsruhe.de
www.ies.uni-karlsruhe.de



Dr.-Ing. Michael Heizmann

Leiter der Forschungsgruppe Variable Bildgewinnung und -verarbeitung
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-329
michael.heizmann@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/VBV

Glänzende Einsichten – Deflektometrie zur

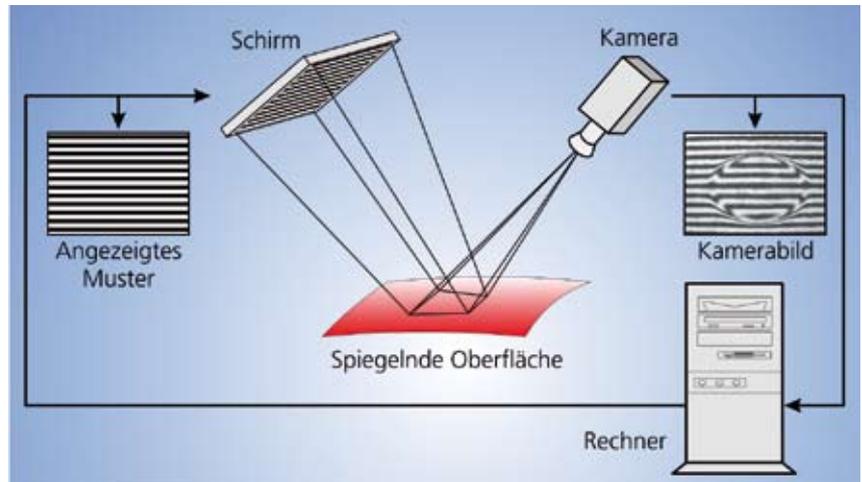


Abb. 1: Deflektometrisches Messprinzip: Eine Kamera beobachtet die Reflexion des auf dem Schirm angezeigten Musters in der zu inspizierenden Oberfläche. Aus dem Kamerabild, das die Verzerrungen des Musters bei der Spiegelung an der Oberfläche zeigt, lassen sich qualitative und quantitative Merkmale der Oberfläche bestimmen. Mustererzeugung und Auswertung der Kamerabilder werden von einem Rechner übernommen.

Bei Oberflächen, die in der optischen Industrie eingesetzt werden oder einfach nur »schön« aussehen sollen wie z. B. Karosserieteile, spielt die spiegelnde (gerichtete) Reflexion oft die entscheidende Rolle.

Die Inspektion spiegelnder Oberflächen stellt in der Praxis jedoch besondere Anforderungen an die verwendete Technik: Einerseits sind die meisten Messverfahren zur Bestimmung der 3-D-Objektgestalt, wie etwa die Triangulation, auf zumindest teilweise diffuse Reflexion angewiesen. Andererseits können die Ergebnisse solcher Messverfahren nicht ohne Weiteres zur Bewertung spiegelnder Oberflächen verwendet werden, da der Kunde die Qualität anhand von Spiegelungen der Umgebung in der Oberfläche begutachtet.

Die Deflektometrie schließt diese Lücke in der Messtechnik. Dabei betrachtet eine Kamera die Spiegelung eines bekannten Musters (z. B. Streifen), das auf einem Schirm dargestellt wird, in der zu inspizierenden Oberfläche (Abb. 1).

Aus den Verformungen des Kamerabildes können dann mittels einer rechner-

gestützten Bildauswertung Rückschlüsse über die Gestalt der Oberfläche gezogen werden [1]. Die technische Umsetzung dieses Messprinzips birgt jedoch einige Herausforderungen, u. a.:

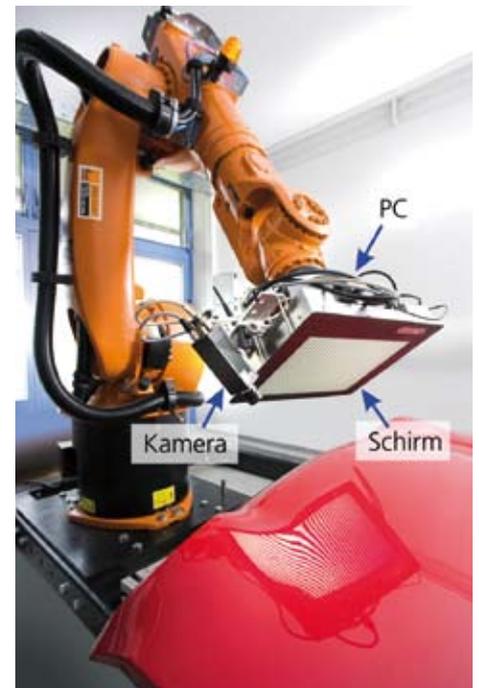


Abb. 2: Deflektometrischer Sensorkopf an einem Industrieroboter zur vollständigen Inspektion großer Teile. Die Spiegelung des Streifenmusters im Karosserieteil lässt Aussagen auf dessen Oberflächengestalt zu.

Inspektion spiegelnder Oberflächen

- Für die qualitative Inspektion auf erkennbare Defekte fehlen noch weitgehend geeignete und anerkannte Auswertestrategien, die Qualitätsausagen aus den aufgenommenen Bildern erlauben. Während sich solche Strategien bei anderen Messverfahren in der langjährigen Praxis bewähren konnten, müssen sie für die Deflektometrie erst noch etabliert werden.

- Da die geometrische Rekonstruktion der Oberfläche aus einer deflektometrischen Messung mathematisch nicht eindeutig ist, muss Zusatzinformation eingebracht werden. Dies bedeutet jedoch Zusatzaufwand bei der Datenerfassung und Auswertung, der möglichst gering gehalten werden soll.

- Besonders bei konvex geformten Bauteilen kann die in der Oberfläche gespiegelte Umgebung sehr groß sein, so dass z. B. kugelförmige oder zylindrische Schirme notwendig werden [2]. Möchte man große und somit unhandliche und teure Schirme vermeiden, muss das Bauteil in mehreren Schritten geprüft werden.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird das deflektometrische Messprinzip in unterschiedlichen Projekten am IITB erforscht und weiterentwickelt:

- Die Frage, wie das deflektometrische Messprinzip zur qualitativen Inspektion funktionaler und ästhetischer Oberflächen genutzt werden kann, wird in einer Kooperation mit Carl Zeiss OIM GmbH untersucht. Die Auswahl einer praxisgerechten und echtzeitfähigen Auswertestrategie für die aufgenommenen Bilder spielt hierbei eine wesentliche Rolle.

- Die Erforschung von Möglichkeiten zur geometrischen Rekonstruktion von

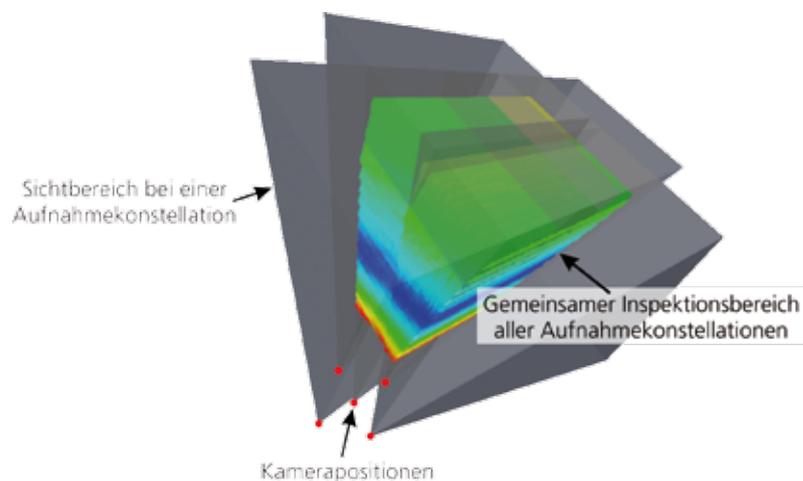


Abb. 3: Wird eine Oberfläche mit unterschiedlichen Aufnahmekonstellationen (Schirm- und Kamerapositionen) deflektometrisch erfasst, so ergibt sich ein gemeinsamer Inspektionsbereich, der bei allen Konstellationen sichtbar ist. Die Auswertung der deflektometrischen Messungen bewertet die Konsistenz der einzelnen Messungen zueinander (blau: gute Konsistenz, rot: schlechte Konsistenz), die dann zur Regularisierung des Rekonstruktionsproblems verwendet werden kann.

Oberflächen ist das Ziel einer Kooperation mit dem Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme (IES) der Universität Karlsruhe (TH). Dabei wurde bisher gezeigt, wie die Rekonstruktion mittels einer Informationsfusion mit anderen geometrischen Messverfahren erzielt werden kann, wobei moderne mathematische Methoden zum Einsatz kommen [3,4]. Aus den erzielten theoretischen Ergebnissen werden praktisch einsetzbare Verfahren und Algorithmen zur Oberflächenrekonstruktion entwickelt.

- In einem weiteren Projekt mit dem Lehrstuhl für Interaktive Echtzeitsysteme wird der Frage nachgegangen, wie Industrieroboter zur Inspektion großer und komplex geformter Bauteile verwendet werden können [5]. Dazu wurde ein deflektometrischer Sensorkopf entwickelt, der aus einem LC-Display, einer Kamera und einem Miniatur-PC zur sensorautonomen Mustererzeugung und Bildauswertung besteht, siehe Abbildung 2. Von besonderem Interesse sind die Fragestellungen, wie sich einzelne deflektometrische Messungen mit unterschiedlichen Aufnahmekon-

stellationen konsistent kombinieren lassen (Abb. 3) und wie der Speicher- und Rechenbedarf der Bildauswertung reduziert werden kann.

Mit diesen Aktivitäten befindet sich das IITB auf dem Weg, die Deflektometrie für seine Partner nutzbar zu machen. Somit wird in Kürze eine moderne Methode zur qualitativen und quantitativen Inspektion spiegelnder Oberflächen zur Verfügung stehen.

Literatur:

- [1] J. Beyerer, D. Pérard: Automatische Inspektion spiegelnder Freiformflächen anhand von Rasterreflexionen. *tm – Technisches Messen* 64 (10), S. 394-400, Oldenbourg Verlag, München, 1997
- [2] S. Kammel: Deflektometrische Untersuchung spiegelnd reflektierender Freiformflächen. *Universitätsverlag Karlsruhe*, 2005
- [3] J. Balzer: Regularisierung des Deflektometrie-problems – Grundlagen und Anwendung. *Universitätsverlag Karlsruhe*, 2008
- [4] J. Lellmann, J. Balzer, A. Rieder, J. Beyerer: Shape from Specular Reflection and Optical Flow. *International Journal of Computer Vision*, 2008
- [5] S. Werling, J. Beyerer: Smarter Sensorkopf für das Rapid-Prototyping von automatischen Sichtprüfungssystemen für spiegelnde Oberflächen. *Bildverarbeitung in der Mess- und Automatisierungstechnik*, F. Puente León, M. Heizmann (Hrsg.), VDI-Berichte Nr. 1981, S. 237-246, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2007

Dreidimensionale Gesten – Multimodale Interaktion mit räumlich verteilten Displays über Blick



Abb. 1: Digitaler Lagetisch mit mobilen Tablett-PCs.

Im Zuge des zunehmenden Informationsangebots wird in vielen Anwendungsbereichen die Datenvisualisierung auf immer mehr und großflächigere Anzeigen räumlich verteilt. Beispiele hierfür sind Lagezentren und industrielle Leitwarten oder auch Besprechungsräume, in denen unterschiedliche Informationskanäle zusammen fließen und zum Teil mehreren Menschen interaktiv zur Verfügung gestellt werden.

Herkömmliche Eingabegeräte wie Maus und Tastatur sind für die Interaktion in solchen 3-dimensionalen Interaktionsräumen aus mehreren Gründen nicht geeignet. Einerseits ist die Erfassung von Eingaben meist auf einen Benutzer beschränkt, andererseits lassen sich meist nur speziell angeordnete Anzeigen (z. B. Doppelmonitorsysteme) damit gut bedienen. Um eine ergonomisch gute Interaktion in verteilten Displayumgebungen durch mehrere Benutzer gleichzeitig zu ermöglichen, war die Entwicklung und Untersuchung neuer Eingabegeräte und -techniken erforderlich.

Neue Eingabetechniken

In der Abteilung »Interaktive Analyse und Diagnose« werden für die Interaktion mit räumlich verteilten Displays Blick- und Handgesten-basierte Interaktionstechniken untersucht und entwickelt. Die Kombination beider Modalitäten ermöglicht sowohl eine natürliche, direkte Interaktion mit den virtuellen Objekten per Hand, als auch eine schnelle und ermüdungsarme Interaktion mit räumlich entfernten Objekten per Blick. Als Versuchsplattform dient hierbei der Digitale Lagetisch [1,2]. Dieses Multi-Displaysystem besteht aus einer horizontal und einer vertikal angeordneten großflächigen Anzeige, sowie mehreren mobilen Tablett-PCs (Abb.1).

Zur Erfassung von Handgesten wird ein videobasiertes 3-D-System eingesetzt [3]. Durch ein, oberhalb der horizontalen Anzeige angebrachtes, Stereokamerasystem kann die Position der Hand in drei Dimensionen bestimmt werden. Dadurch ist es, im Gegensatz zu gän-



Dipl.-Inform. Thomas Bader

Interaktive Analyse und
Diagnose
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-314
thomas.bader@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/IAD

Display-übergreifende Interaktion und 3-D-Handgesten

gigen Multi-Touchscreens, möglich mit einer einheitlichen Technologie Position der Hand, Berührung von Anzeigeflächen und auch Handbewegungen in größerer Entfernung zum Display zu erfassen. Durch Analyse der Handkontur im Kamerabild wird zusätzlich das gezeigte Handsymbol klassifiziert. Diese Klassifikation ermöglicht eine robuste Abgrenzung von bewussten Eingaben zur Bedienung des Systems (Mensch-Maschine-Kommunikation) gegenüber Gestikulation, wie sie typischerweise während Diskussionen an einem solchen Arbeitsplatz auftritt (Mensch-Mensch-Kommunikation). Durch die videobasierte und damit geräteunabhängige Erfassung von 3-D-Handposition und -symbol können völlig neue Interaktionstechniken wie z. B. Display-übergreifendes »Drag-and-Drop« realisiert werden (Abb. 2).

Synergien aus Kombinationen

Die Interaktion per Handgesten hat allerdings in Umgebungen mit mehreren räumlich verteilten oder großflächigen



Abb. 2: Interaktionstechnik Display-übergreifendes »Drag-and-Drop«.

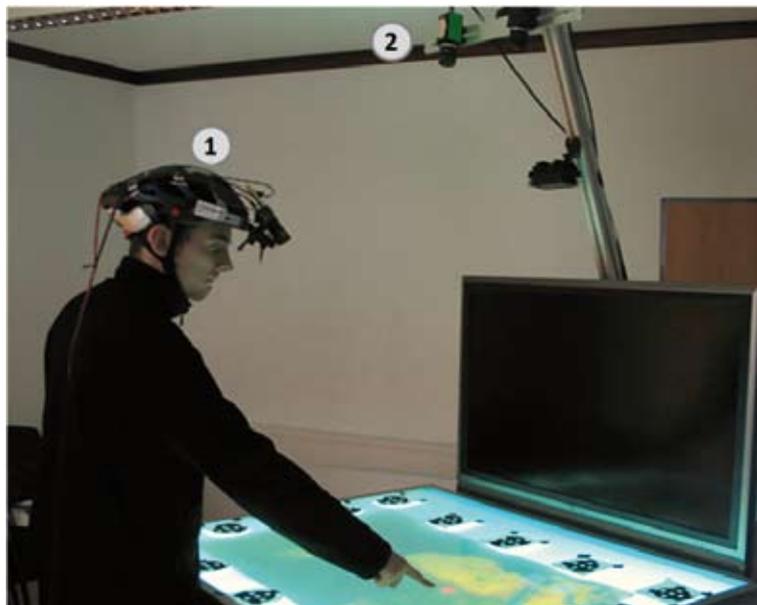


Abb. 3: Interaktionstechnik Display-übergreifendes »Drag-and-Drop«.

Displays einen Nachteil. Die zur weiträumigen Interaktion notwendigen ausgedehnten Gesten führen relativ schnell zu Ermüdung. Im Gegensatz hierzu können mit Hilfe des Blicks räumliche Distanzen schnell und ohne anstrengende Bewegungen überwunden werden. Allerdings handelt es sich beim Auge im Gegensatz zur Hand um ein reines Wahrnehmungsorgan. Der Einsatz des Blicks als Eingabemittel muss daher auf einem gründlichen Verständnis von natürlichem Blickverhalten während der Interaktion basieren. Durch den Einsatz von Blickbewegungsmessgeräten ist es möglich das Blickverhalten während der Interaktion zu untersuchen (Abb. 3). Im Rahmen einer Studie wurden erste, das Blickverhalten während handgestenbasierter Interaktion beschreibende Modelle erarbeitet [4]. Diese können direkt zur Bewertung der Gestaltungslösung für displayübergreifende Interaktion und außerdem als notwendige Basis zur Integration von unterschiedlichen Eingabemodalitäten genutzt werden.

In weiteren Forschungsvorhaben sollen die entwickelten Verfahren zur videobasierten Handgestenerkennung und zur automatischen Auswertung von Blickbewegungsdaten weiter verbessert, sowie die gewonnenen Erkenntnisse in Form von neuen displayübergreifenden Interaktionstechniken in bestehende Anwendungen am Digitalen Lagetisch integriert werden.

Literatur:

- [1] Bader, T., Meissner, A., Tscherny, R. (2008). Digital map table with Fovea-Tablet®: Smart furniture for emergency operation centers. Proceedings of ISCRAM 2008, 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, S. 679-688
- [2] Geisler, J., Eck, R., Rehfeld, N., Peinsipp-Byma, E., Schütz, C., & Geggus, S. (2007). Fovea-Tablet: A New Paradigm for the Interaction with Large Screens. Proceedings of HCI 2007, Human Interface, Part I, S. 278-287
- [3] Bader, T. (2008). Videobasierte Handgestenerkennung: Anforderungen und Umsetzung für die Interaktion an horizontalen Anzeigen, In tm - Technisches Messen 75 Nr. 7-8, S. 429-436
- [4] Bader, T., Klaus, E. (2008) Blickverhalten bei gestenbasierter Interaktion an großflächigen Anzeigen. Wird veröffentlicht in DGLR-Bericht, 50. Fachausschusssitzung Anthropotechnik, Oktober 2008

Themen



Dipl.-Inform. Moritz Ritter

Mess-, Regelungs- und
Diagnosesysteme
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-578
moritz.ritter@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/MRD



Dott.-Ing. Giulio Milighetti

Mess-, Regelungs- und
Diagnosesysteme
Fraunhofer IITB Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-502
giulio.milighetti@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de/MRD

Das Dritte Auge - Wenn Hände sehen können Die nächste Robotergeneration

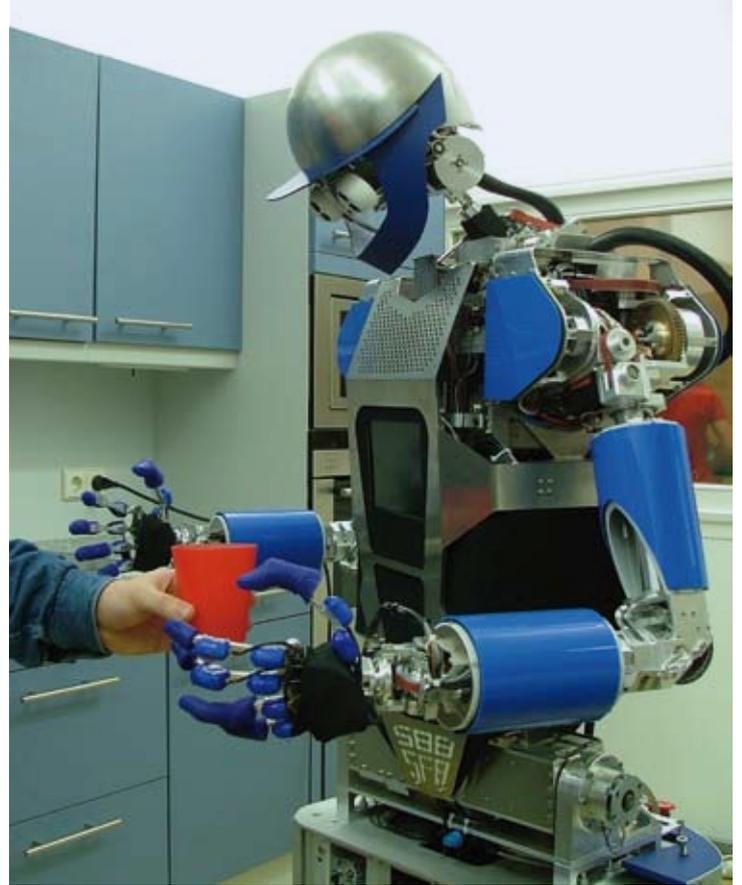


Abb. 1: ARMAR III.

Gegenwärtig werden im Bereich der Robotik starke Anstrengungen unternommen, um eine neue Generation von so genannten humanoiden Robotern zu entwickeln. Sie werden in der Lage sein, anspruchsvolle Aufgaben im häuslichen Umfeld weitgehend selbständig zu erledigen sowie interaktiv mit dem Menschen zu agieren. Um den hohen Anforderungen hinsichtlich Flexibilität und Autonomie in einer meist unstrukturierten Umgebung mit sich ständig ändernden Umwelteinflüssen und Aufgabenstellungen gerecht zu werden, benötigt der Roboter menschenähnliche Fähigkeiten. Dies wird erreicht, indem Sensoren eingesetzt werden, die das komplette Spektrum der menschlichen Wahrnehmung abdecken.

Sinne und Intelligenz

Weiterhin benötigt der Roboter eine Intelligenz, die es ihm ermöglicht, die verschiedenen Informationen über seinen internen Zustand sowie über die Umgebung zu fusionieren und auszuwerten. Anhand dieser Ergebnisse kann er schließlich zielführende Handlungen planen. Grundlegend hierfür ist eine geeignete Steuerungs- und Regelungsarchitektur, die erheblich flexibler hinsichtlich der wechselnden Aufgabenstellungen sein muss als bei einem klassischen Industrieroboter.

Um diese neuartigen und zukunftsorientierten Aufgabenstellungen zu lösen, wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) der Sonderfor-

schungsbereich SFB 588 »Humanoide Roboter« eingerichtet. Dort werden die verschiedenen mechatronischen und informationstechnischen Aspekte der intelligenten Kooperation und Interaktion eines Roboters mit dem Menschen grundlegend untersucht.

Die Grundfähigkeiten

Innerhalb des aus verschiedenen Teilprojekten bestehenden Sonderforschungsbereiches ist das IITB für die Entwicklung eines flexiblen multisensoriellen Überwachungs- und Regelsystems verantwortlich. Es ermöglicht einem Roboter menschenähnliche Grundgeschicklichkeiten (Basic Skills) intelligent auszuführen. Typische Basic Skills, die am IITB gelöst wurden, sind z. B. das kraft- und visuell geregelte Fügen von Passgegenständen (wie Bolzen in Bohrung, Schlüssel in Schlüsselloch oder Stecker in Steckdose), das schlupf- und kraftgeregelte Greifen glatter fragiler Gegenstände (z. B. Gläser), das visuell geregelte, beidarmige Balancieren eines Tablett mit instabilen Gegenständen oder die akustisch geregelte Ausrichtung des Roboterkopfes hin zu dynamischen Schallquellen wie beispielsweise eines heruntergefallenen Gegenstandes [1,2].

Räumliches Sehen

Um solch einen zufällig platzierten Gegenstand in einem komplexen Umfeld voller bewegter und unbewegter Hindernisse sicher zu greifen (Abb. 1), wurde eine der wichtigsten Basic Skills – das Greifen von Gegenständen – entwickelt. Ein typisches Beispiel ist das Greifen eines Bechers auf einem

gedeckten Esstisch. Zur Bewältigung dieser anspruchsvollen Aufgaben verfügt der Roboter über eine in den Kopf eingebettete Stereokamera, die die Merkmale und 3-D-Lage des jeweiligen Greifobjektes und dessen Umgebung besonders gut im Weitbereich erkennen und verfolgen kann. Da es während der visuell geregelten (Visual Servoing) Annäherung an den Gegenstand und des anschließenden Greifvorganges zu Verdeckungen, Unschärfe- und Helligkeitsproblemen kommen kann, wurde zusätzlich in die Fünf-Finger-Hand des Roboters eine Miniaturkamera integriert (Abb. 2). Während der Mensch solche durch die eigene Hand verdeckten Bereiche anhand auf seiner Erfahrung basierender Rekonstruktion der Verdeckung automatisch ergänzt, ist es bei einem Roboter möglich, ihn durch einen weiteren optischen Sensor zu erweitern. Mit diesem »Dritten Auge« lässt sich das Objekt bis in unmittelbare Greifnähe frei von Verdeckungen lokalisieren und verfolgen (Abb. 3).

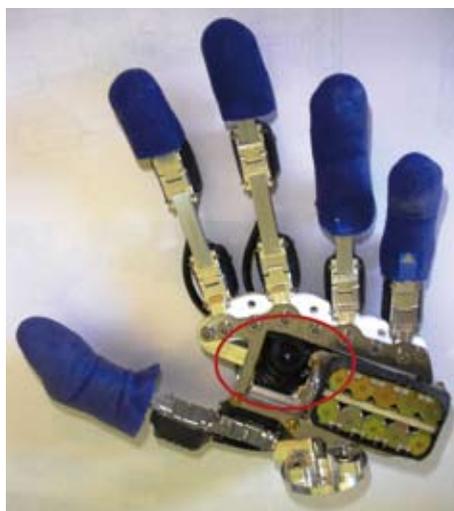


Abb. 2: Intelligente Fünf-Finger-Hand mit eingebetteter Miniaturl-Kamera.

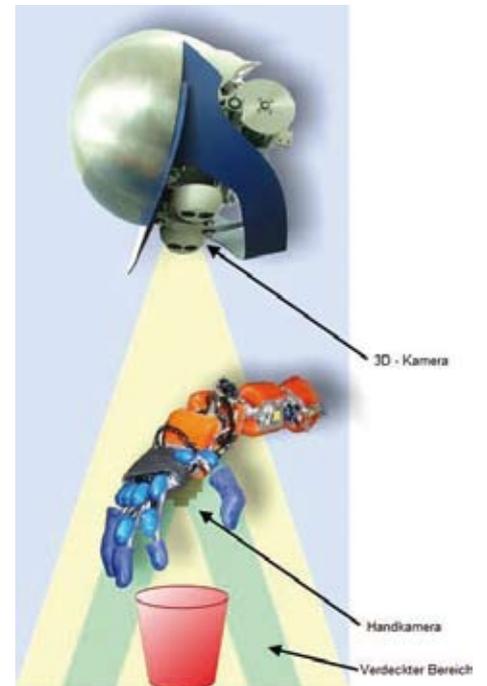


Abb. 3: Verdeckung durch Hand beim Greifen.

Um während des visuell geregelten Greifvorganges ständig für die Regelung nützliche 3-D-Bildinformationen zu erhalten, ist eine optimale Koordination der Stereo-Kopf- und der Handkamera erforderlich. Hierzu wurde am IITB ein Fuzzy-Decision-Algorithmus entwickelt, der in jeder Phase des dynamischen Greifvorganges die Regelungsfähigkeit der beiden Kameras nach unscharfen Gütekriterien bewertet und darauf basierend die Fusion der 3-D-Bildinformationen optimiert [3].

Literatur:

- [1] G. Milighetti, H.-B. Kuntze: »Multi-Sensor Robot Control for Humanoid Two-Arms Skills«, *Robotik 2006*, Munich, Germany, 15th-17th May 2006.
- [2] G. Milighetti, H.-B. Kuntze: »Fuzzy based decision making for the discrete-continuous control of humanoid robots«, *IROS 2007* San Diego, California, 29th Oct. - 2nd Nov. 2007.
- [3] G. Milighetti, H.-B. Kuntze: »Kraft- und schlupfgeregeltes Greifen und Bearbeiten von Gegenständen mit Hilfe eines neuen optischen Sensors«, *Robotik 2008*, München, Germany, 11th - 12th Juni 2008

Karlsruhe

Fraunhofer-Institut für
Informations- und
Datenverarbeitung IITB
Fraunhoferstraße 1
76131 Karlsruhe
Telefon +49 721 6091-0
Fax +49 721 6091-413
info@iitb.fraunhofer.de
www.iitb.fraunhofer.de

Ilmenau

Fraunhofer-Anwendungszentrum
Systemtechnik AST
Am Vogelherd 50
98693 Ilmenau
Telefon +49 3677 461-132
Fax +49 3677 461-100
claudia.schrickel@ast.iitb.fraunhofer.de
www.ast.iitb.fraunhofer.de

Beijing

Representative for Production and
Information Technologies
Unit 0610, Landmark Tower 2
8 North Dongsanhuan Road
Chaoyang District
100004 Beijing, PR China
Telefon +86 10 65900 621
Fax +86 10 65900 619
muh@fraunhofer.cn

