

Schlussbericht zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF

Projektbezeichnung:

Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung dynamischer
 Oberflächenveränderungen durch Mehrbildmatching mit
 geometrischen und zeitlichen Bedingungen (DynaSurf)

Zuwendungsempfänger	Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven
Förderkennzeichen	1708X07
Projektlaufzeit	01.03.2007 – 28.02.2010
Projektpartner	AICON 3D Systems GmbH, Biberweg 30 C, 38114 Braunschweig
	AXIOS 3D Services GmbH, Marienstraße 16, 26121 Oldenburg
	Volkswagen AG, 38436 Wolfsburg
	Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, 71287 Weissach
	Technische Universität Dresden, 01062 Dresden
	Niedersächsisches Forschungsnetz Bildgebende Sensortechnik

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1 Einleitung	2
2 Algorithmus zur Erfassung von Freiformflächen	4
2.1 Resampling	5
2.2 Bildvorverarbeitung.....	6
2.3 Störobjektbehandlung.....	7
2.3.1 Definition Störobjekte	7
2.3.2 Störobjekte mit bekannter Geometrie.....	8
2.3.3 Verfolgung von Störobjekten im Raum	8
2.4 Matchingstrategie	10
2.5 Photogrammetrische Bildzuordnung	11
2.5.1 Kreuzkorrelation mit geometrischen Bedingungen	11
2.5.2 Erweiterte Ansätze des Least-Squares Matching Verfahrens	12
2.5.3 Least-Squares Matching, Ansatz Projektivtransformation.....	14
2.5.4 Least-Squares Matching, Ansatz Polynomtransformation.....	14
2.5.5 Entwurf von Mustern zur Texturierung der Objektoberflächen	14
3 Implementierung der Algorithmen im Programm PISA.....	16
3.1 Projektverwaltung und Steuerung der Matchingroutine.....	16
3.2 Analyse-Tool: Sequenz-Player	16
3.3 Visualisierungs-Tool: Open-GL-Viewer.....	16
3.4 Ergebnisausgabe.....	17
3.5 Anaglyphenfilme.....	18
4 Untersuchungen	19
4.1 Übersicht: Prüfkörper und Testumgebungen.....	19
4.2 Statische Genauigkeitsuntersuchungen am Prüfkörper „Sinuswelle“	19
4.3 Praxisnahe Genauigkeitsuntersuchungen am Modell eines Fahrzeugfußraumes.....	22
4.4 Messung der Fußraumdeformationen im dynamischen Pendeleinschlag-Versuch	27
4.5 Analyse der erweiterten LSM-Ansätze anhand synthetischer Bilddaten.....	28
4.6 Messungen von starken Deformationen an einer Membran.....	30
4.7 Untersuchungen zur Oberflächenerfassung unter Berücksichtigung von Störobjekten	32
4.7.1 Versuch A.....	32
4.7.2 Versuch B.....	34
5 Verwertbarkeit der Ergebnisse (Beispielprojekte)	35
5.1 Anwendungsbereich Fahrzeugsicherheitsversuche.....	35
5.1.1 Motorhaubendeformation	35
5.1.2 Fußraumintrusion im realen Crashtest	35
5.1.3 Öffnungsverhalten von Airbag-Abdeckungen	36
5.2 Andere Anwendungsbereiche	37
5.2.1 Körperscanner	37
5.2.2 Flussbettvermessung.....	37
5.2.3 Deformationen an Rotorblättern von Windkraftanlagen	38
5.2.4 Messung Fugenabtrag an historischen Bauwerken	38
6 Zusammenfassung und Ausblick	40
7 Publikationen	41
Literaturverzeichnis.....	42
Tabellenverzeichnis	44
Abbildungsverzeichnis	44
Anlagen zum Schlussbericht (Teil B)	46

1 Einleitung

Die flächenhafte 3D-Erfassung von nahezu beliebig geformten Objektoberflächen gehört heutzutage zu den Standardaufgaben der optischen 3D-Messtechnik. Die Anwendungsfelder reichen von der Bestimmung von Geländeoberflächen aus Luft- und Satellitenaufnahmen (z.B. der Erdoberfläche oder des Mars) bis hin zur Messung von Freiformflächen in industriellen Produktionsprozessen (Reverse Engineering, Rapid Prototyping) oder der Vermessung von Körperteilen und Hautoberflächen in Medizin und Kosmetikbranche. Es bieten sich je nach Messvolumen, Oberflächenbeschaffenheit und Genauigkeitsansprüchen verschiedene Messtechniken an, wie z.B. Streifenprojektion, Lichtschnittverfahren oder Photogrammetrie.

Zur photogrammetrischen Rekonstruktion einer Oberfläche aus zwei oder mehreren Ansichten muss das Objekt über eine hinreichende Oberflächenstruktur oder Textur verfügen. Unstrukturierte Oberflächen lassen sich nur dann messen, wenn entweder ein aktives Messverfahren (z.B. Laserscanning, Radar, Ultraschall) eingesetzt wird oder das Objekt mit einem künstlich aufgebracht Muster versehen wird. Hierbei kommen vor allem Streifenprojektionsverfahren (Phasenmessverfahren) zum Einsatz, die heute weitgehend beliebig geformte Oberflächen mit einer dichten Punktfolge erfassen können. Sie basieren auf einer Sequenz projizierter Streifengitter, die von einer oder mehreren Kameras aufgezeichnet werden. Projektor und Kameras müssen für die Dauer der Aufnahme kalibriert und orientiert und ihr Bezug zum Objektkoordinatensystem muss herstellbar sein, d.h. es wird eine stationäre Aufnahmesituation erwartet. Somit haben aktive Messtechniken, wie Streifenprojektionssysteme, gegenüber den photogrammetrischen Messtechniken den Nachteil, dass sie zwar komplex geometrische Formen in hoher Punktfolge erfassen, jedoch Messungen in hoher zeitlicher Auflösung nur begrenzt leisten können [Höfling et. al. 2008].

Dies ist z.B. dann der Fall, wenn sich Aufnahmesysteme und Objekt relativ zueinander bewegen oder wenn sich die Oberfläche des Objektes so schnell verändert, dass eine sequentielle Musterprojektion nicht möglich ist. Genau diese Verhältnisse treten in zahlreichen technischen Anwendungsgebieten auf, z.B. bei der Materialprüfung oder im Fahrzeugsicherheitsversuch. Im letzteren Fall handelt es sich zudem um sehr schnelle Abläufe, die in der Regel nur mit Hochgeschwindigkeitskameras erfasst werden können.

Zunehmend sind Automobilhersteller daran interessiert, wie sich bei Sicherheitsversuchen (Crashtests, Fußgängerschutzversuche, Komponententests) nicht nur einzelne Objektpunkte, sondern ganze Objektbereiche flächenhaft dynamisch verhalten. Die damit gewonnenen Aussagen haben nicht nur Einfluss auf die Fahrzeugkonstruktion bezüglich minimaler Personenschäden beim Unfall, sondern lassen auch Rückschlüsse auf Materialeigenschaften und dynamische Prozesse zu, die mit der Analyse von diskreten Einzelpunkten nicht erzielbar wären.

Im Bereich der zerstörungsfreien Materialprüfung werden optische 3D-Verfahren ebenfalls schon häufig eingesetzt. Anwendungen liegen im Bereich mechanischer und thermischer Belastungsversuche (Flugzeugbau, Werkstoffkunde, Bauingenieurwesen usw.) oder Untersuchungen von Langzeiteffekten (z.B. Erosion an natürlichen Geländeoberflächen, Mörtelabtrag an Mauerwerken usw.), so dass sich hier ein weites Feld für flächenhafte Verformungsanalysen ergibt.

1 Einleitung

Ziel dieses Projekts ist daher die Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung dynamischer Oberflächenveränderungen, für deren vollständige Erfassung zeitliche Auflösungen von 500Hz und mehr benötigt werden.

Schwerpunkt des geplanten Forschungsvorhabens ist die Entwicklung entsprechender neuer Algorithmen, die auf der Zusammenführung verschiedener Matchingverfahren und dynamischer Filtermethoden basieren sollen. Das Projekt baut auf verschiedenen Vorarbeiten auf, die in den letzten Jahren am IAPG durchgeführt worden sind. Hierzu gehören unter anderem die bildvariante Kameramodellierung mit finiten Elementen [Tecklenburg & Luhmann 2008], die optische Sensornavigation [Luhmann et. al. 2006a], die Nutzung von Highspeedkameratechnik vor allem in Kombination mit Stereostrahlteilungssystemen [Luhmann 2005] und die Durchführung erster Untersuchungen zum photogrammetrischen Matching.

Ausgehend von den oben beschriebenen Problemstellungen und im Hinblick auf die teilweise sehr unterschiedlichen praktischen Anwendungsgebiete lassen sich folgende Entwicklungsziele ableiten:

- simultane Verarbeitung von zwei oder mehr Bildern pro Aufnahmeepoche
- Verarbeitung beliebig langer Bildsequenzen
- beliebige Wahl der Punktdichte im Objektraum
- Berücksichtigung photogrammetrischer Bedingungen (Epipolargeometrie)
- hierarchisches Zuordnungsmodell (Grob- bis Feinmessung, Bildpyramiden)
- subpixel-genaue Bildzuordnung
- Kleinste-Quadrate-Zuordnung in oberer Auflösungsstufe
- Berücksichtigung lokaler Nachbarschaftsbeziehungen
- Integration von geometrischen Bedingungen zum Verlauf von Trajektorien
- Überbrückung partieller texturarmer Bereiche
- Erkennung von partiellen Verdeckungen (z.B. durch Störobjekte)
- Verfolgung physischer Oberflächenpunkte
- festes oder variables Objektpunktraster
- Beschränkung auf 2½D-Oberflächen

2 Algorithmus zur Erfassung von Freiformflächen

Im Zuge der Projektarbeit wurde ein leistungsfähiger Algorithmus entwickelt, der die dynamische Erfassung von Deformationen an Freiformflächen aus Stereobildsequenzen ermöglicht.

Grundlage des Verfahrens bilden zwei bildraumbasierte Ansätze zur photogrammetrischen Punktzuordnung in Stereobildern: das Verfahren der normierten Kreuzkorrelation in Kombination mit erweiterten Ansätzen der Kleinste-Quadrate-Zuordnung (Least-Squares-Matching, LSM). Die Punktzuordnung erfolgt in Stereonormalbildern, die durch Resampling mit Hilfe bekannter Orientierungsparameter aus den Originalbildern berechnet werden. Es besteht optional die Möglichkeit, die Stereonormalbilder in einem Vorverarbeitungsschritt mit dem Wallis-Filter zu filtern.

In der Praxis ist bei der Auswertung langer Bildsequenzen davon auszugehen, dass eine Vielzahl von Störungen auftreten (z.B. schlecht texturierte Oberflächenbereiche, Reflektionen an der Objektoberfläche, umher fliegende Teile die zu Verdeckungen führen etc.). Um eine möglichst vollständige und zuverlässige Oberflächenerfassung zu gewährleisten, müssen diese Störungen entsprechend berücksichtigt werden. Das Verfahren beinhaltet diesbezüglich einige Strategien, die in Abschnitt 2.3 genauer vorgestellt werden.

Abbildung 1 gibt einen schematischen Überblick über den Verfahrensablauf:

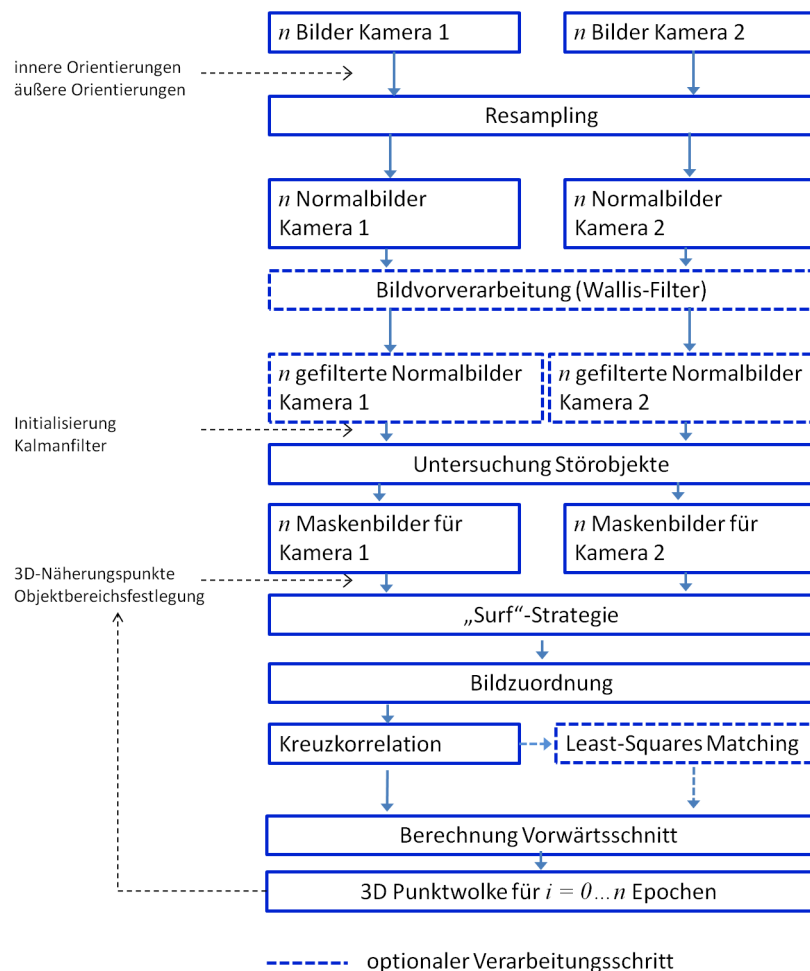


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Verfahrensschritte