

EIN STEREOSKOPISCHES NAHBEREICHSYSTEM AUF BASIS VON ADAPTIVER MUSTERPROJEKTION

WANJING LI^{A,B}, MARTIN BÖHLER^B, RAINER SCHÜTZE^B,
FRANCK. S. MARZANI^A, FRANK BOOCHS^B, YVON VOISIN^A

^a Laboratory LE2i, Building Mirande, UFR Sc. & Tech.
BP 47870, 21078 Dijon Cedex, FRANCE
{wanjing.li, franck.marzani,yvon.voisin}@u-bourgogne.fr

^b i3mainz, Fachhochschule Mainz
{mboehler, schuetze, boochs}@geoinform.fh-mainz.de

Beschrieben wird ein aktives stereoskopisches Messkonzept zur Rekonstruktion von 3D-Objektgeometrien. Durch automatische Adaption des projizierten Musters erfolgt dabei eine Anpassung der Punktdichte an die Objektgeometrie bereits während der Erfassung. Das Resultat des Prozesses ist ein optimiertes 3D-Model, welches das vermessene Objekt mit einem Minimum an Punkten beschreibt. Es wird gezeigt, dass mit der von uns entwickelten Methode ein derart optimiertes Model ohne Genauigkeitseinbußen gewonnen werden kann.

1 Einleitung

Verfahren zu Erfassung von 3D-Geometrien arbeiten in der Regel mit einer festen Auflösung ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Objektgeometrie. Dies führt oftmals zu 3D-Modellen mit starker Redundanz, bei der auch ebene Flächen mit einer hohen Anzahl an Punkten beschrieben werden. Auf diese Weise entstehen sehr große Datensätze, die erst ausgedünnt werden müssen, um sie handhabbar zu machen. Der nichttriviale Vorgang der Reduktion ist zeitintensiv und führt nicht immer zu optimalen Ergebnissen.

Das hier beschriebene System dagegen adaptiert die Punktdichte bereits während des Erfassungsvorgangs entsprechend der Objektgeometrie. Das System arbeitet mit zwei frei positionierbaren Kameras in Stereoanordnung und einer Projektionseinheit. Letztere erzeugt dynamische Muster auf der Objektoberfläche. Nach der Kalibrierung des Systems erfolgt die Rekonstruktion der 3D-Geometrie in einem iterativen Prozess. Zunächst wird ein regelmäßiges Punktmuster auf das Objekt projiziert. Die Punkte werden in den Messbildern beider Kameras detektiert und durch einen Schwerpunktoperator mit Subpixelgenauigkeit bestimmt. Anschließend wird die Korrespondenz zwischen den Punkten in beiden Bildern ermittelt und die entsprechenden 3D-Koordinaten berechnet.

Die nun vorliegende 3D-Punktwolke wird einer Dreiecksvermaschung unterzogen. Das entstehende Gitternetz wird analysiert, um Bereiche mit starker Krümmung zu identifizieren. Es wird ein neues Punktmuster erzeugt, in dem die Punktdichte in den so ermittelten Bereichen gezielt erhöht wird.

Mit der Projektion dieses Musters beginnt die nächste Iteration. Der Prozess wird wiederholt, bis die geforderte Genauigkeit erreicht ist und alle geometrischen Details mit der gewünschten Präzision erfasst sind.

2 Systemkalibrierung

Das System ist so konzipiert, dass es nicht von spezifischen Hardwarekomponenten abhängig ist, sondern mit jeder CCD-Kamera und jeder Projektionseinheit (LCD Projektor, Lichtmodulator, o.ä.) kompatibel ist. In der vorgestellten Testinstallation wurden zwei CCD

Kameras (AVT Oscar F-510C, Auflösung: 2588x1958) und ein LCD Projektor (Canon LV-7350, Auflösung: 1024x768) eingesetzt.

Durch die freie Konfiguration des Systemaufbaus sind nach evtl. Änderungen Kalibriermaßnahmen erforderlich. Die notwendigen Schritte können von der die Bestimmung der Kamera- und Projektorposition bezogen auf einen Referenzrahmen bis zur Kontrolle der inneren Kamerageometrie (Kalibrierung) bzw. der Bestimmung der Projektorgeometrie reichen.

2.1 Kamera-Kalibrierung

Die Bestimmung der Parameter der inneren Orientierung (IO) [F. REMONDINO, C. FRASER] für jede Kamera ist in einen automatischen Kalibrierablauf integriert.

Als Kalibrierpunktfeld dient ein ebenes Punktfeld (30 x 40 cm) mit rund 200 kodierten Punkten (siehe Abb. 1). Zur Erzeugung der nötigen geometrischen Informationen wird dieses aus verschiedenen Richtungen, Neigungen und Rotationen um die optische Achse der Kamera aufgenommen. In jedem Bild wird der Mittelpunkt aller Zielmarke automatisch gemessen, wobei die Mitte einer Zielmarke über einen Schwerpunktoperator (Center Of Gravity, kurz COG) berechnet und die Punktnummer durch Analyse des Ringcodes [M. NIEDERÖST, H.-G. MAAS] bestimmt wird.

Die Bestimmung der inneren Orientierung wird mittels der Selbstkalibrierung [T. LUHMANN] mit der Ausgleichungs-Software AxOri berechnet. Die Eingangsgrößen für die Bündelausgleichung sind hier die mittels COG berechneten Bildkoordinaten, die näherungsweise bekannten Objektkoordinaten und die geschätzten äußeren Orientierungen.

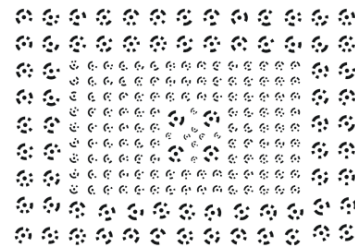
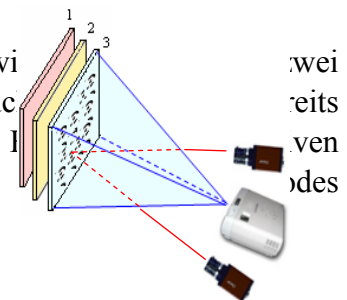


Abb. 1: Kalibrierfeld

2.2 Orientierung der Kameras

Zur Bestimmung der äußeren Orientierung des Kamerapaars wird ein „weil Schritt“ Lösung angewandt: Relative und absolute Orientierung. Auch zur Kamerakalibrierung verwendete Punktfeld genutzt. Die für die absolute Orientierung benötigten Bildstrahlen wurden mittels COG und



2.3 Projektor Kalibrierung

Die Projektionseinheit wird ebenfalls kalibriert, wobei die Kenntnis der Projektionsstrahlen nicht in die Punktbestimmung einfließt aber zur Vereinfachung des Korrespondenzproblems (siehe 3.1) hilfreich ist.

In diesem mathematischen Model wird der LCD Projektor gleichbehandelt wie ein Kamerasystem [V.A. KNYAZ; A. LATHUILIÈRE u.a.]. Die geometrische Beziehung zwischen Objektraum und Projektorbildebene wird durch die Verwendung eines eindeutigen Musters hergestellt, welches in den Objektraum projiziert und von den beiden Kameras beobachtet wird.

Die M-Matrix des Projektors wird mit dem einfachen Ansatz nach “Faugeras-Toscani” bestimmt [O.D. FAUGERAS, G. TOSCANI; R.HORAUD, O.MONGA]. Zur Bestimmung der Matrix

Abb. 2: Projektor-Kalibrierung

M werden rund 350 projizierte Punkte in verschiedenen Ebenen im Objektraum beobachtet. Die erreichte Genauigkeit der 2D Punkte liegt im Mittel bei 0,19 Pixel.

3 Rekonstruktion der 3D-Geometrie

Zur Rekonstruktion der 3D-Punktkoordinaten aus dem Stereobildpaar kommen zunächst Methoden der Bildverarbeitung zum Einsatz: Die projizierten Punkte werden in den Bildern detektiert, ihr Zentrum mittels eines Schwerpunktoperators (COG) mit Subpixelgenauigkeit bestimmt und über die bekannten Orientierungsparameter im Raum koordiniert.

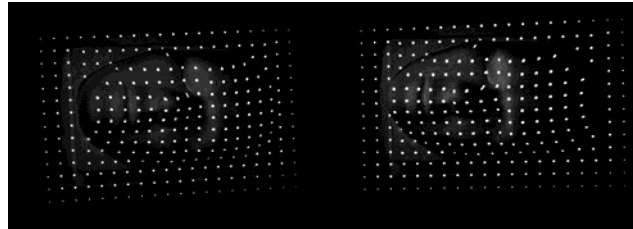


Abb. 3: Stereobildpaar mit initialem Punktmuster

3.1 Das Korrespondenzproblem

Ein nichttriviales Teilproblem des Rekonstruktionsprozesses ist die Korrespondenzfindung zwischen den Punkten in beiden Bildern. Da die projizierten Punkte – im Gegensatz zu den Punkten auf der zur Kalibrierung verwendeten Tafel – über keinerlei Kodierung verfügen und eine solche auch nicht praktikabel wäre, muss die Korrespondenz zwischen den beiden Bildern auf anderem Wege hergestellt werden.

Der von uns entwickelte und in dem Softwaremodul ‚CloudPro‘ implementierte Algorithmus [M. BÖHLER, F. BOOCHS] verwendet hierzu eine Reihe von unterschiedlichen Kriterien, um für ein potentielles Punktpaar zu prüfen, ob es sich tatsächlich um einen homologen Punkt handelt. Jedes Kriterium liefert eine Wahrscheinlichkeit P_i für eine Korrespondenz der beiden Punkte. Eine gewichtete Kombination aller Teilwahrscheinlichkeiten führt zur endgültigen Zuordnungswahrscheinlichkeit P_{fin} . Liegt diese über einem Schwellwert P_{min} , so gelten die Punkte als homolog. Die Kombination verschiedener Kriterien in Verbindung mit einer iterativen Herangehensweise hat sich als sehr robust erwiesen.

3.1.1 Kriterien

Zur Ermittlung der Zuordnungswahrscheinlichkeit werden folgende Kriterien geprüft:

- Epipolarer Abstand der Punkt - je genauer die Punkte auf einer Epipolarebene liegen, desto wahrscheinlicher ist eine Korrespondenz.
- Nachbarschaftsverhältnisse - wenn die Korrespondenz einiger initialer Punkte ermittelt wurde, können Betrachtungen über benachbarte Punkte angestellt werden, um wahrscheinliche Punktpaare zu finden.
- Relative Position entlang einer Epipolarlinie – da die Ausrichtung der Kameras im Stereobildfall ähnlich ist, ist die relative Position eines Punktes entlang der Epipolarlinie meist vergleichbar
- Projektor - durch die Kalibrierung des Projektors ist es möglich, einen rekonstruierten Punkt zurück in das projizierte Bild zu rechnen und somit zu prüfen, ob an der ermittelten Position tatsächlich ein Punkt projiziert wurde.
- Farbkodierung (optional) - Wenn Projektor, Kamera und Material des Objektes es erlauben, können auch farbkodierte Punkte projiziert werden, was die Zuordnung massiv vereinfacht.

Des Weiteren findet ab der zweiten Iteration das aus vorherigen Iterationen vorhandene Wissen um die nun näherungsweise bekannte Objektgeometrie Eingang in die Korrespondenzfindung.

3.1.2 Segmentierung des Punktraumes

Bei n Punkten pro Bild sind n^2 einzelne Punktkombinationen zwischen je einem Punkt des rechten und des linken Bildes möglich. Insgesamt existieren $n!$ mögliche Zuordnungen aller Punkte. Eine Prüfung sämtlicher Kombinationen wäre bei großen Punktmengen extrem laufzeitintensiv. Es ist daher sinnvoll, mit Hilfe eines einfachen Kriteriums die Menge der zu prüfenden Kombinationen zu reduzieren.

Als geeignetes Kriterium bietet sich hierbei die Epipolareometrie an: Da homologe Punkte immer auf einer Epipolarebene liegen, reduziert sich die Anzahl der möglichen Kandidaten für jeden Punkt auf wenige mögliche Kandidaten im anderen Bild. Nur diese werden einer eingehenden Prüfung unterzogen. Durch diese Segmentierung des Punktraumes wird die Anzahl der benötigten Operationen beträchtlich reduziert und steigt bei wachsender Punktmengen nur noch linear an.

3.1.3 Iteration in der Korrespondenzfindung

Der Algorithmus zur Korrespondenzfindung arbeitet ebenfalls iterativ: Nach dem ersten Durchlauf werden diejenigen Punkte, die nicht eindeutig zugeordnet werden konnten, erneut bearbeitet. Durch die erfolgte Zuordnung einiger Punktpaare in der ersten Iteration hat sich zum einen die Anzahl der Mehrdeutigkeiten reduziert, zum anderen stehen mehr Informationen über Nachbarschaftsbeziehungen zur Verfügung, was die Zuordnung nochmals vereinfacht.

Nach der Lösung des Korrespondenzproblems werden mittels räumlichen Vorwärtsschnittes die 3D-Koordinaten für alle bekannten Punkte berechnet. Die erzeugte Punktwolke wird anschließend mittels einer Delaunay-Triangulation [S. KANAGANATHAN, N.B. GOLDSTEIN] vermascht. Das so entstehende Gittermodell wird zur folgenden Analyse der Krümmungseigenschaften des Objektes verwendet.

4 Krümmungsanalyse und Generation des neuen Punktmusters

4.1 Krümmungsanalyse

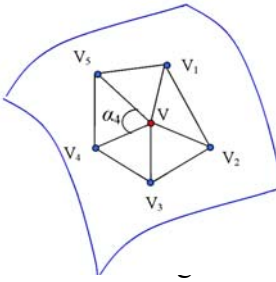
Durch Interpretation eines Dreiecksnetzes als lineare Approximation einer gekrümmten Oberfläche lassen sich genäherte lokale Krümmungen (LSC, local surface curvature) für einzelne Punkte des Netzes bestimmen. Hierzu existieren verschiedene Ansätze und Näherungsverfahren, die zumeist auf Betrachtungen an den Vertices des Netzes basieren. Neben diesen Verfahren wurde von uns ein eigenes Verfahren entwickelt, welches auf den Normalenvektoren der Flächen basiert.

4.1.1 Gaußsche Krümmung

Jeder Punkt auf einer dreidimensionalen Fläche besitzt zwei Hauptkrümmungen k_1 (minimale Krümmung) und k_2 (maximale Krümmung). Aus diesen Werten lassen sich die Gaußsche Krümmung $K = k_1 \times k_2$ und die mittlere Krümmung $H = (k_1 + k_2) / 2$ ableiten.

Wir wählten die Gaußsche Krümmung zur Bestimmung des LSC-Wertes, da sie im Gegensatz zur mittleren Krümmung bei sehr kleinen Flächen nicht 0 wird.

Sowohl Gaußsche als auch Mittlere Krümmung sind auf 2D-Oberflächen definiert. Um 3D-Krümmung zu berechnen, haben die Autoren L. ALBOUL, et al.; T. SURAZHSKY, et al. die Gaußsche und Mittlere Krümmung von 3D-Oberflächen mit Hilfe von Surazhsky verglichen fünf Algorithmen und kamen zu dem Schluss, dass das Gauß-Bonnet-Verfahren der beste Algorithmus zur Näherung der Gaußschen Krümmung ist [T. SURAZHSKY, et al.]. In unserer Software wurden drei auf dem Gauß-Bonnet-Verfahren basierende Lösungen implementiert.



zweifach differenzierbare Oberflächen erhalten, wurden durch die Erfahrung zur Approximation

Abb. 4: Oberfläche approximiert

Der Vertex V_i ist dabei ein Nachbar des Vertex V , wenn die Kante VV_i Teil des Gitternetzes ist. Die Menge der Nachbarn von V sei dann $\{V_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$ und die Menge aller Dreiecke, die V enthalten, $\{T_i = \Delta(V_i, V, V_{(i+1) \bmod n}) \mid i=1, 2, \dots, n\}$. Schließlich sei die Menge aller Winkel in V zwischen je zwei seiner aufeinander folgenden Nachbarn von V $\{\alpha_i = \angle(V_i, V, V_{(i+1) \bmod n}) \mid i=1, 2, \dots, n\}$. Ferner sei A_i die Fläche des Dreiecks $\Delta(V_i, V, V_{(i+1) \bmod n})$, siehe Abb. 4.

Die gängigste Formel [N. DYN, et al.; J.-L. MALTRET, M. DANIEL] zur Berechnung der Gaußschen Krümmung K in V lautet:

$$(1) \quad K = \frac{2\pi - \sum_{i=1}^n \alpha_i}{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n A_i}$$

Meyer [M. MEYER, et al.] hingegen schlägt die Verwendung von Voronoi-Dreiecken anstelle der originalen Dreiecksflächen vor, hier A^{Mixed} genannt.

$$(2) \quad K = \frac{2\pi - \sum_{i=1}^n \alpha_i}{\sum_{i=1}^n A_i^{Mixed}}$$

Ein dritter, einfacherer Ansatz kann durch das Ignorieren der Dreiecksflächen erzielt werden [L. ALBOUL, G. ECHEVERRIA, M. RODRIGUES]:

$$(3) \quad K = 2\pi - \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

4.1.2 Unser Ansatz

Für stetig gekrümmte Flächen liefert die Gaußsche Krümmung verlässliche Informationen, um zur LSC-Bestimmung in unserem Verfahren zu dienen. Wenn jedoch ein Vertex zwei Nachbarn auf der gleichen Kante besitzt und weitere Nachbarn auf zwei angrenzenden Flächen, beträgt seine Gaußsche Krümmung 0 (siehe Abb. 3). An diesem Punkt versagt die Gaußsche Krümmung für unsere Zwecke: Die Kante wird nicht als solche erkannt.

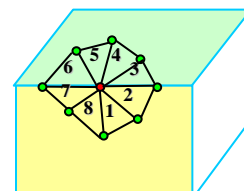


Abb. 5: Ungünstige Flächenkonfiguration für Gaußsche Krümmung

Aus diesem Grund wurde ein neuer Ansatz entwickelt. Dieser basiert im Gegensatz zu dem Verfahren nach Gauß nicht auf der Betrachtung der Vertices des Gitternetzes, sondern auf der Betrachtung der Normalenvektoren der Flächen.

Nachdem für jede Fläche der Normalenvektor berechnet wurde, kann der Torsionswinkel θ zwischen zwei Flächen als Produkt der Normalenvektoren berechnet werden. Um die LSC eines Punktes im Netz zu erlangen, werden alle angrenzenden θ des Punktes evaluiert. Dabei ist vor allem der höchste Wert θ_{max} relevant, denn nur wenn alle Winkel gering sind, liegt eine niedriger LSC vor. Auf diese Weise können auch für die beschriebenen Konfigurationen, bei denen das Gauß-Bonnet-Verfahren versagt, für unsere Zwecke nutzbare LSC-Werte berechnet werden.

4.2 Generierung des neuen Punktmusters

Punkte des Netzes, deren LSC unterhalb eines unteren Schwellwerts τ_1 liegen, sind redundante Punkte, die zur Optimierung des Modells gelöscht werden können: Da sie in einer Ebene liegen, führt ihre Löschung nicht zu einem Verlust an morphologischen Informationen.

Bei einem LSC größer als ein oberer Schwellwert τ_2 liegt eine Region mit komplexer Morphologie vor, die einer Erhöhung der Punktdichte ratsam erscheinen lässt. Um diese Punkte herum werden daher zusätzliche Punkte erzeugt, insofern die Punktdichte hier noch nicht das im Rahmen des Verfahrens mögliche Maximum erreicht hat.

Bei einem LSC zwischen τ_1 und τ_2 ist keine Änderung notwendig.

Mit der Projektion des so generierten Musters beginnt die nächste Iteration. So lange noch Änderungen am Punktmuster erfolgen, wird die Iteration fortgesetzt, bis schließlich ein optimales Muster und somit das endgültige 3D-Modell erreicht ist.

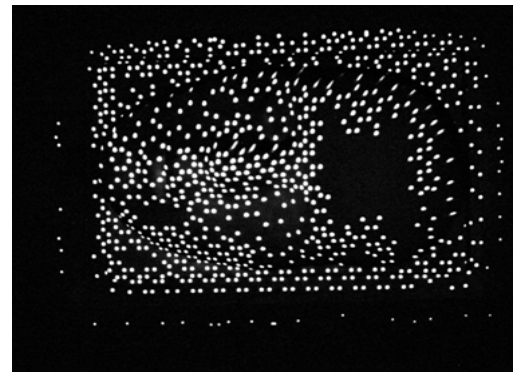


Abb. 6: Adaptiertes Punktmuster der 3. Iteration bei der Rekonstruktion einer Maske

5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt zeigen wir Ergebnisse des Rekonstruktionsprozesses für zwei Objekte, ein blaues kreuzförmiges Metallstück und eine graue Plastikmaske (siehe Abb. 76).



Abb. 7: Zwei Objekte zur Rekonstruktion: ein blaues Kreuz und graue Maske.

Für jedes Objekt wurden die vier in 4.1 genannten Näherungsansätze zur Bestimmung des LSC-Wertes angewendet. Die Rekonstruktionsergebnisse wurden mit einem gescannten Referenzmodell M_{ref} verglichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst und in der Abb. 8 visualisiert. Das Referenzmodell M_{ref} wurde mit einem GOM Atos II aufgenommen. Das M_{ref_simp} ist ein vereinfachtes Modell des M_{ref} , bei dem die

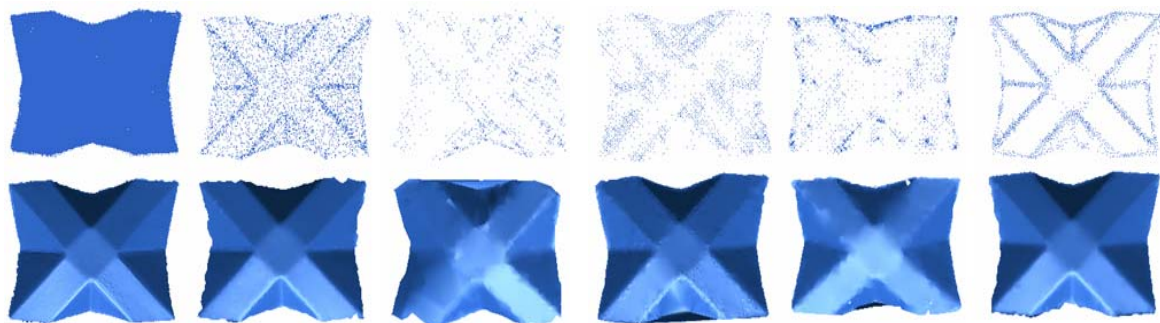
Energiefunktion minimiert und die so bestimmten Punkte aus dem Original herausgenommen wurden. Die verschiedenen LSC Schätzungsansätze, beschrieben in Abschnitt 4.1.1, werden hier M_{GC1} , M_{GC2} , M_{GC3} genannt. Das mittels des eigenen Ansatzes (siehe 4.1.2) erzeugte Modell heißt M_{LI} .

Tabelle 1 Vergleich der Rekonstruktion des blauen Kreuzes

	M_{ref}	M_{ref_simp}	M_{GC1}	M_{GC2}	M_{GC3}	M_{LI}
Anzahl der Punkte	96,194	4,817	1,494	1,814	1,823	2,031
Standartabweichung vs. M_{ref} (mm)	-	0,34	0,68	0,36	0,61	0,08

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass M_{LI} verglichen zu M_{ref} mit 0,08 mm die kleinste Standardabweichung aufweist. Im Vergleich zu M_{ref_simp} ist dieser Wert dreimal besser. Darüber hinaus wurden für die Bestimmung von M_{LI} nur 2.031 Punkte benötigt. Das bedeutet gegenüber M_{ref} eine Einsparung von 98%.

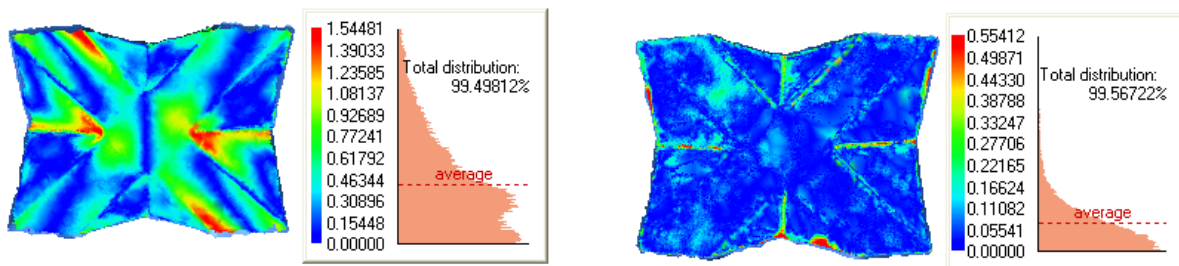
In Abb. 87 (b) ist zu erkennen, dass das vereinfachte Modell M_{ref_simp} durch eine größtenteils gleichmäßig über die Oberfläche verteilte Punktwolke beschrieben wird, die auch in den ebenen Bereichen Punkte enthält. Vergleicht man das Ergebnis aus M_{LI} , ist zu erkennen, dass nur an den Kanten die Punktdichte hoch ist und die ebenen Bereiche mit wenigen Punkten bestückt sind.



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Abb. 8: Vergleich der Rekonstruktion des blauen Kreuzes, jeweils beschrieben durch die 3D Punktwolke und der Maschenoberfläche; (a) M_{ref} ; (b) M_{ref_simp} ; (c) M_{GC1} ; (d) M_{GC2} ; (e) M_{GC3} ; (f) M_{LI} .

Abb. 9 zeigt zwei Differenzbilder von M_{ref_simp} und M_{LI} bezogen auf M_{ref} . Die Qualität des Modells ist sehr gut, zu erkennen an der geringen Abweichung (durch den blauen Bereich dargestellt), wohingegen das vereinfachte Modell höhere Abweichungen, insbesondere an den Kanten und in den Ecken, aufweist.



(a) (b)
Abb. 9: Vergleich der Abweichungen: (a) Abweichung zwischen M_{ref} und M_{ref_simp} (STABW 0,34 mm) und (b) Abweichung zwischen M_{ref} und M_{LI} (STABW 0,08 mm)

Abb. 10 zeigt das Rekonstruktionsergebnis einer mehr ungleichmäßig geformten Oberfläche (Maske). Das Referenzmodell wurde auch hier mit dem GOM Atos II erfasst. Das vereinfachte Referenzmodell besitzt eine Standardabweichung von 0,18 mm und enthält große Fehler im Bereich der Augenbrauen, dem Nasenrücken und den Lippen.

Das mit unserem LSC-Ansatz erfasste Modell beinhaltet nur 3.211 Punkte und ist mit einer Standardabweichung von 0,11 mm zum Referenzmodell bestimmt worden. Das Differenzbild zeigt, dass viele Bereiche der Maske, inklusive der signifikanten Stellen, eine sehr kleine Abweichung zum Referenzmodell besitzen, erkennbar an den blauen Stellen mit einem Wert von rund 0,06 mm.

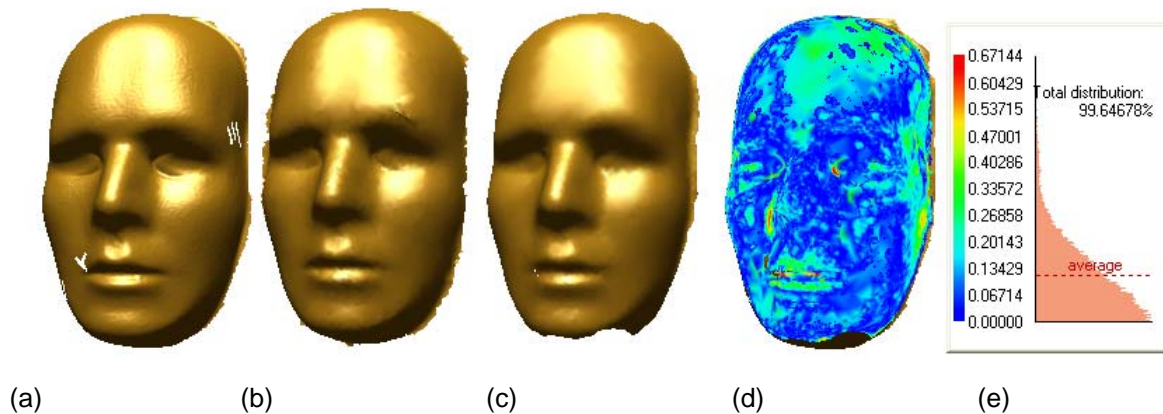


Abb. 10: Verschiedene Modelle der Maske: (a) M_{ref} Referenz Modell (107.573 Punkte); (b) M_{ref_simp} vereinfachtes Referenz Modell (5.344 Punkte); (c) M_{LI} Modell (3.211 Punkte); (d) Abweichung zwischen M_{ref} und M_{LI} (STABW 0,11 mm)

6 Zusammenfassung

Wir zeigten ein neues System für die Nahbereichsphotogrammetrie auf Basis von iterativer und adaptiver Musterprojektion. Der Schwerpunkt liegt hierbei hauptsächlich auf der gezielten Datenerfassung der charakteristischen Bereiche während der Bildaufnahme. Das System projiziert in einem iterativen Erfassungsprozess Punktmuster passend zur Oberflächengeometrie des Objektes. Bei jeder Iteration wird die lokale Oberflächenkurve für jeden Maschenpunkt berechnet und entschieden, an welcher Stelle zusätzlich Punkte projiziert werden müssen.

Einige Ergebnisse von verschiedenen Oberflächen wurden dargestellt und es wurde gezeigt, dass unser System geeignet ist, 3D Modelle mit hoher Genauigkeit zu rekonstruieren. Durch den Einsatz unseres Kantenbasierten LSC Ansatz konnten, verglichen zum GOM Atos II, optimierte Modelle mit 98% weniger Punkten erzeugt werden, wobei alle wichtigen morphologischen Informationen über das Objekt trotzdem erfasst wurden.

Der Grund, warum unser Ansatz bessere optimierte 3D Modelle liefert, liegt in der Tatsache, dass wir die charakteristischen Oberflächeneigenschaften schon während des hierarchischen Erfassungsprozess ermitteln. Bei dem Ansatz der Ausdünnung von Maschen, wie er in der Literatur beschrieben wird, wird meist das schrittweise Löschen von Punkten über das Minimieren einer Energiefunktion verfolgt. Der Nachteil hierbei ist, dass die Oberflächenform nicht als Indikator verwendet wird, um zu evaluieren, ob sich ein Punkt an einer signifikanten Stelle befindet.

Momentan basiert die Steuerung der projizierten Muster allein auf der LSC-Schätzung, da die Geometrie des Objektes bei der Rekonstruktion komplett unbekannt ist. Unsere zukünftige

Arbeit wird einen Schritt weitergehen und sich mit eventuell vorhandenem Vorwissen beschäftigen. Mit der Kombination der Vorkenntnis über das Objekt und der LSC-Schätzung wird das System fähig sein, die für den Nutzer interessanten Oberflächeneigenschaften sehr schnell zu bestimmen. Dieser Ansatz kann im Industriellen Umfeld z.B. zur Qualitätskontrolle genutzt werden.

7 Literaturverzeichnis

- L. ALBOUL, G. ECHEVERRIA, M. RODRIGUES, 2005: Discrete curvatures and gauss maps for polyhedral surfaces, in European Workshop on Computational Geometry (EWCG), Eindhoven, the Netherlands, 2005, pp. 69–72.
- M. BÖHLER, F. BOOCHS, 2006: Getting 3D shapes by means of projection and photogrammetry, Inspect, GIT-Verlag, Darmstadt, 2006.
- N. DYN, K. HORMANN, S.J. KIM, D. LEVIN, 2001: Optimizing 3D triangulations using discrete curvature analysis, Mathematical Methods for Curves and Surfaces, Oslo 2000, Nashville, TN., 2001, pp.135-146.
- O.D. FAUGERAS, G. TOSCANI, 1986: “The calibration problem for stereo“, in Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, Miami Beach, Florida, USA, pp.15-20.
- R.HORAUD, O.MONGA, 1995 : Vision par ordinateur: outils fondamentaux, 2^{ème} édition, Hermès.
- S. KANAGANATHAN, N.B. GOLDSTEIN, 1991: Comparison of four point adding algorithms for Delaunay type three dimensional mesh generators, IEEE Transactions on magnetics, 1991, 27(3).
- V.A. KNYAZ, 2006: Automated calibration technique for photogrammetric system based on a multi-media projector and a CCD camera, ISPRS Image Engineering and Vision Metrology (IEVM06), Dresden, September 2006, pp. .25-27.
- A. LATHUILLÈRE, F. MARZANI, Y. VOISIN, 2003: Calibration of a LCD projector with pinhole model in active stereovision applications, Conference SPIE: Two- and Three-Dimensional Vision Systems for Inspection, Control, and Metrology, Rhode Island, USA, 2003, vol. 5265, pp. 199-204.
- T. LUHMANN, 2003: Nahbereichsphotogrammetrie Grundlagen - Methoden – Anwendungen, Edition 2.
- J.-L. MALTRET, M. DANIEL, 2002: Discrete curvatures and applications: a survey. Rapport de recherche 004.2002, Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, 2002.
- M. MEYER, M. DESBRUN, P. SCHRÖDER, A.H. BARR, 2002: Discrete differential-geometry operators for triangulated 2-manifolds, In Proc. VisMath 02, Berlin, Germany, 2002, pp.35-57.
- M. NIEDERÖST, H.-G. MAAS, 1997: Entwurf und Erkennung von codierten Zielmarken, Tagungsband der 16. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Oldenburg 1996, Germany.
- F. REMONDINO, C. FRASER, 2006: Digital camera calibration methods: considerations and comparisons, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Commission V Symposium, Dresden, Germany, Vol. XXXVI, part 5, pp. 266-272.
- T. SURAZHISKY, E. MAGID, O. SOLDEA, G. ELBER, E. RIVLIN, 2003: A comparison of gaussian and mean curvatures estimation methods on triangular meshes, in IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2003.