

Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion archäologischer Scherben zur Klassifizierung¹

Martin Kampel und Robert Sablatnig

Abteilung für Mustererkennung und Bildverarbeitung,
Technische Universität Wien, Favoritenstraße 9/1832,
A-1040 Wien, Österreich
tel: ++43 1 58801 18364, fax: ++43 1 58801 18392
e-mail: {kempel,sab}@prip.tuwien.ac.at

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes “Bildhafte Erfassung von archäologischen Fundgegenständen” wurde ein System zur Aufnahme der dreidimensionalen Struktur von archäologischen Scherben entwickelt. Um aus den daraus resultierenden Tiefendaten ein 3D Modell zu konstruieren, müssen verschiedene Ansichten des Objektes in ein einheitliches Koordinatensystem übertragen werden. Dieser Schritt wird Registrierung genannt.

In dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, dass unter Nutzung der besonderen Eigenschaften von rotationssymmetrischen Objekten eine Registrierung durchführt und ein 3D Modell berechnet.

1. Einleitung

Bei Ausgrabungen wird eine große Anzahl von Bruchstücken archäologischer Gefäße gefunden. Die Funde werden fotografiert, vermessen und anschließend katalogisiert und klassifiziert. Dieser Vorgang ist sehr zeitraubend und arbeitsaufwendig, da tausende von Scherben auf diese Weise behandelt werden müssen [OT93]. Grundlage für die automatische Klassifikation und Rekonstruktion von archäologischen Bruchstücken ist deren dreidimensionale Erfassung [KS01].

Es wird eine Methode vorgestellt, die zwei verschiedene Ansichten (die Vorder- und Rückseite) eines Scherbens registriert, um ein vollständiges 3D-Modell zu erzeugen. Es wird ein Ansatz gewählt, der mit Hilfe der Rotationsachsen der Scherben zwei Ansichten aufeinander registriert: Archäologische Fundstücke, wie Scherben oder Vasen, haben die Eigenschaft, dass sie rotationssymmetrisch sind, da sie auf Töpferscheiben gefertigt wurden. Durch diese charakteristische Form ist eine Bestimmung der Rotationsachse möglich [Ha97, YM97].

Abbildung 1 beschreibt den Aufbau dieses Dokumentes und die Arbeitsschritte einer 3D-Oberflächenrekonstruktion aus zwei Ansichten: Objektansicht 1 und Objektansicht 2 entsprechen der Vorder- und der Hinteransicht eines Scherbens. Mit Hilfe zweier 3D-

¹ Diese Arbeit wurde vom österreichischen Fond zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung FWF P13385-INF, von der europäischen Union unter IST-1999-20273 und aus Mitteln des BM für Bildung, Wissenschaft und Kultur gefördert.

Aufnahmen werden zwei Tiefenbilder erzeugt. Die Bildaufnahme und die 3D-Aufnahmetechnik wird in Abschnitt 2 beschrieben.

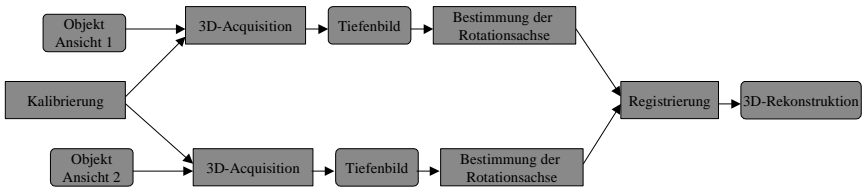


Abbildung 1: Arbeitsschritte einer 3D-Rekonstruktion aus 2 Objektansichten

Mittels den aus der Aufnahme resultierenden Tiefenbildern wird für jede Ansicht die Rotationsachse bestimmt. Mit Hilfe der beiden Achsen werden die beiden Objektansichten registriert und ein Oberflächenmodell berechnet. Dieser Vorgang wird im Abschnitt 3 beschrieben. Den Abschluss bildet Abschnitt 4 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2. Aufnahmesystem

Das Aufnahmesystem besteht aus einem LCD-640 Streifenprojektor und einer b/w - CCD-Kamera. Die aufzunehmenden Objekte sind archäologische Fundstücke, wie Tonscherben oder Vasenfragmente in den Größen von 5x5x5cm bis 20x20x20cm. Die Aufnahmeanordnung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Der Projektor und die Kamera sind derart montiert, dass die optischen Achsen in einem Winkel von ca. 20 Grad zueinander stehen. Diese Wahl des Winkels hat den Vorteil, dass bei der Aufnahme auftretende Licht bzw. Kameraverdeckungen reduziert werden. Das Aufnahmesystem wird nach einer in [Tes96] beschriebenen Methode über die Ebenengleichungen seiner projizierten Lichtebenen modelliert. Zur Bildaufnahme wird die codierte Lichtschnitttechnik

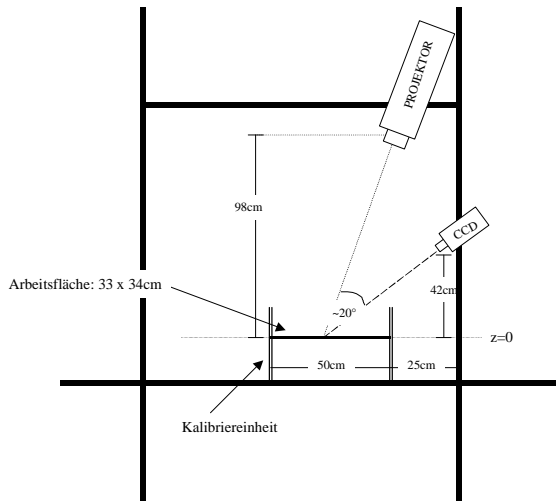


Abbildung 2: Aufnahmeanordnung

gewählt, welche in [Jar83] und [KK96] ausführlich dokumentiert ist. Das Ergebnis der Bildaufnahme ist ein Tiefenbild (oder Range Image). Nachdem für die Innen- und die Außenansicht des Scherbens je ein Tiefenbild (siehe Abbildung 3) erzeugt worden ist,

müssen die beiden Ansichten anschließend aufeinander registriert werden, um ein vollständiges 3D Modell zu erzeugen.

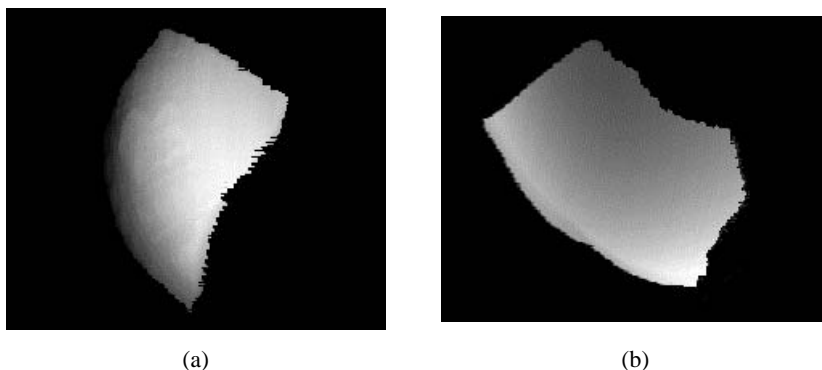


Abbildung 3: (a) Vorderansicht und (b) Hinteransicht eines Scherbens als Tiefenbild

3. Tiefendatenregistrierung

Bei der Registrierung von archäologischen Fundstücken wie Vasen und Scherben kann nicht angenommen werden, dass in den Tiefenbildern verschiedener Ansichten immer korrespondierende Punkte [BM92], zu finden sind, wie es zum Beispiel bei der Vorderansicht und der Hinteransicht eines Scherbens der Fall ist. Daher wird ein modellbasierter Ansatz [VA86] gewählt, der mit Hilfe der Rotationsymmetrie von archäologischen Fundstücken die Registrierung zwei verschiedener Ansichten ermöglicht [Ka99].

Im ersten Schritt zur Berechnung der Registrierungsparameter [DW98] werden die Rotationsachsen von jeder Ansicht ermittelt; für rotationssymmetrische Objekte gilt, dass alle Oberflächennormalen ihre Rotationsachse schneiden [YM97]. Dies gilt ebenso für Teile von rotationssymmetrischen Objekten (siehe Abbildung 4).

Die Bestimmung der Rotationsachsen erfolgt nach einer auf die Hough-Transformation basierende Methode [YM97]: Mehrere Oberflächenpunkte werden zu Patches Zusammengefasst. Für jeden Patch i wird eine Oberflächennormale \vec{n}_i berechnet. Alle \vec{n}_i mit $\vec{n} = (a, b, c)$ werden in einen 3D-Parameterraum (Hough-Space) übertragen: Alle Punkte im Parameterraum, die zu einer der Oberflächennormalen \vec{n}_i gehören, werden im Parameterraum gewichtet, indem ein Zähler erhöht wird. Jene Punkte im Parameterraum, die zu mehreren \vec{n}_i gehören (die Punkte der Rotationsachse), haben dadurch ein höheres Gewicht und werden ab einem bestimmten Schwellwert t_{acc} als Maxima bezeichnet. Aus diesen Maxima wird die Rotationsachse a gebildet.

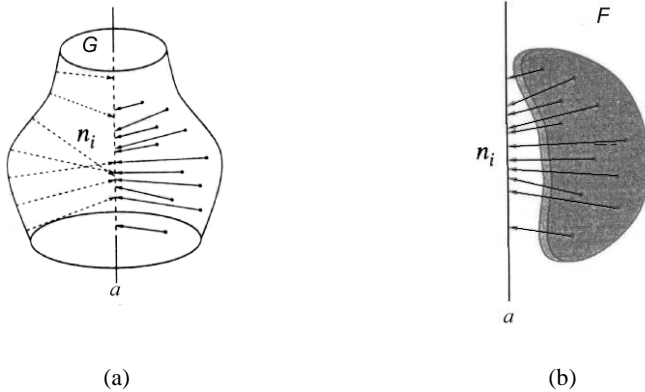


Abbildung 4: Die Oberflächennormalen \vec{n}_i eines rotationssymmetrischen Objektes G schneiden die Rotationsachse a ; dies gilt für ganze Objekte (a) und für Teile eines Objektes F (b).

Nachdem für jede Ansicht (Abbildung 5a) die Rotationsachsen berechnet wurden, werden die Achsen aneinander ausgerichtet (Abbildung 5b). Dies entspricht dem Ausrichten zweier Geraden im Raum und ergibt die Rotationswinkel r_x und r_y . Der dritte Winkel r_z wird iterativ bestimmt, indem die Abweichung der Oberflächennormalen der beiden Ansichten minimiert wird (Abbildung 5c).

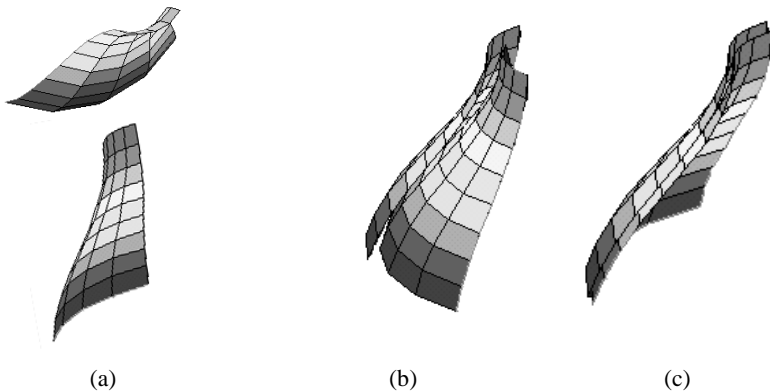


Abbildung 5: Registrierung zweier Ansichten

In folgendem Beispiel wird die Genauigkeit der Berechnung der Registrierungsparameter anhand eines realen Scherbens demonstriert.

Es werden Tiefenbilder der Innenansicht und der Außenansicht eines maschinell gefertigten Tonscherbens erstellt. Aufgrund der maschinellen Fertigung des

Tonscherbens wird angenommen, dass dieser Scherbe im Gegensatz zu archäologischen Scherben genau rotationssymmetrisch ist und es dadurch zu einem geringen Fehler $\sigma < 0.005\text{mm}$ bei der Berechnung der Rotationsachse kommt. Die Außenansicht des Scherbens wird im Tiefenbild Abbildung 6a mit 10191 Punkten dargestellt und die Innenansicht wird in Abbildung 6b mit 9619 Punkten dargestellt.

Die Werte der berechneten Rotationswinkel betragen: $r_x = -0.4702$ Grad, $r_y = 44.10$ Grad und $r_z = 167$ Grad. Der durchschnittlicher Abstand d beträgt 5.64mm und der Registrierungsfehler $\delta = 1.42\text{mm}$. Die ermittelten Ergebnisse werden durch Ungenauigkeiten der Bildaufnahme und der daraus resultierenden Rotationsachse gestört.

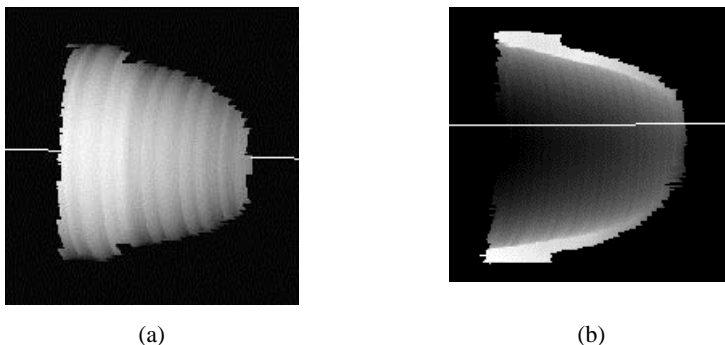
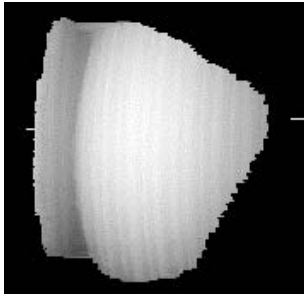


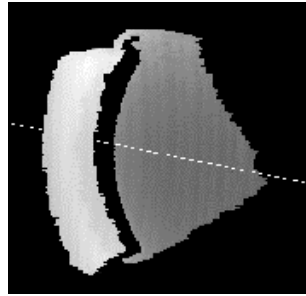
Abbildung 6: Tiefenbilder mit eingezeichneten Rotationsachsen der (a) Außenansicht und (b) Innenansicht einer Tonscherbe

Abbildung 7a und b zeigt die Vorder- und Hinteransicht eines archäologischen Scherbens mit eingezeichneten Rotationsachsen.

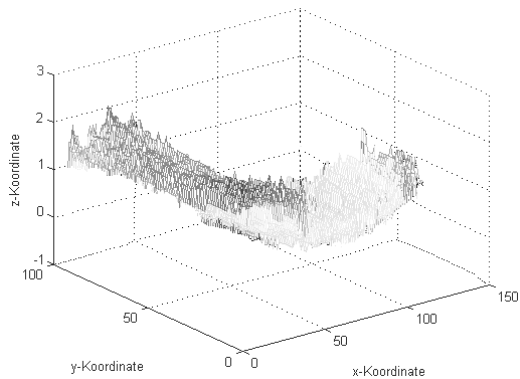
In der Fehlermatrix Abbildung 7c sieht man die größten Fehler (Abweichungen der Punkte bis zu 2.8mm) im Randbereich des Scherbens. Diese werden durch den Schattenbereich der Innenansicht verursacht, da in diesem Bereich keine Tiefendaten berechnet werden können. Ungenauigkeiten sind durch die unregelmäßige Oberflächenstruktur des archäologischen Scherbens (d.h. nicht alle Oberflächenpunkte der Scherbeninnenansicht haben den gleichen Abstand zu ihren entsprechenden Oberflächenpunkten der Außenansicht) begründet. Experimente ergeben einen Registrierungsfehler von 1.7mm bei einer durchschnittlichen Scherbendicke von 5.8mm .



(a)



(b)



(c)

Abbildung 7: (a) Vorder- und (b) Hinteransicht eines archäologischen Scherbens mit eingezeichneten Rotationsachsen und (c) Fehlermatrix des Registrierungsfehlers

Zum Vergleich von vier Experimenten wird in Tabelle 1 die Anzahl der ermittelten Oberflächenpunkte der Innen- und Außenansicht und der entsprechenden Registrierungsfehler angeführt. Der Anstieg des Registrierungsfehlers bei realen Daten im Vergleich zu synthetischen Daten ist durch den Fehler bei der Berechnung der Rotationsachse verursacht. Eine größere Fehlerwahrscheinlichkeit ist bedingt durch die Krümmung der Scherbe, falls der Scherbe zu flach oder zu klein ist.

Daten	Anzahl d. Punkte (Außenansicht)	Anzahl d. Punkte (Innenansicht)	Registrierungs- fehler [mm]
Synthetisch	50	50	0
Synthetisch	6674	6674	0.016
Real	10191	9619	1.42
Real	31298	37176	1.72

Tabelle 1: Vergleich der Experimente anhand der Anzahl der Oberflächenpunkte und der Registrierungsfehler

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die in dieser Arbeit präsentierte Methode zeichnet sich durch seine objektive und wiederholbare 3D-Erfassung von archäologischen Fundstücken aus. Durch die Registrierung der Innen- und Außenansicht eines Scherbens wurde es möglich, ein 3D-Oberflächenmodell aus den beiden Ansichten zu konstruieren.

Eine Erweiterung des vorgestellten Verfahrens ist die Registrierung von Ansichten von verschiedenen Scherben. Eine Unterschied zum bestehenden System würde sein, dass eine Aussage darüber getroffen wird, ob die zu registrierenden Ansichten von der gleichen Scherbe abstammen oder nicht. Dadurch könnte die Grundlage eines Systems geschaffen werden, dass Scherben ein- und desselben Gefäßes als solche identifiziert.

5. Literatur

- [BM92] P.J. Besl and N.D. McKay. A Method for Registration of 3d Shapes. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume 14, No. 2, pp.239-256, February 1992.
- [DW98] C. Dorai, G. Wang, A.K. Jain und C. Mercer. Registration and Integration of Multiple Object Views for 3d Model Construction, In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume 20, No. 1, pp.83-89, January 1998.
- [Ha97] R. Halír. Estimation of Rotation of Fragments of Archaeological Pottery. In Burger. W, Burge M., Editors, *Proc. of the 21st Workshop of the ÖAGM*, pp.175-184, Hallstatt, Austria, May 1997.
- [Jar83] R. Jarvis. A Perspective on Range Finding Technique for Computer Vision. In *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, Volume 5, No. 2, pp.122-139, March 1983.
- [Ka99] M. Kampel, Tiefendatenregistrierung von rotationssymmetrischen Objekten. *Diplomarbeit, PRIP-TR056*, Institut für Automation, TU-Wien, Februar 1999.

- [KK96] R. Klette, A. Koschan, K. Schlüns. *Computer Vision. Räumliche Information aus digitalen Bildern*. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1996.
- [KS01] Kappel M., Sablatnig R., "Automated 3d Recording of Archaeological Pottery", in D. Bearman and F. Garzotto (Ed.) *Proc. of the Int. Conf on Cultural Heritage and Technologies in the Third Millennium*, Vol. 1, pp. 169-182, Milan, Italy, Sept. 2001.
- [OT93] C. Orton, P. Tyers, and A. Vince. *Pottery in Archaeology*, 1993.
- [SL95] M. Soucy, D. Laurendeau. A General Surface Approach to the Integration of a Set of Range Views, In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Volume 17, No. 4, pp.344-358, April 1995.
- [Tes96] M. Teschner. Rekonstruktion und adaptive Integration von Tiefenkarten mit Lichtstreifenprojektion und Schwenk-Neige-Einrichtung. *Diplomarbeit, CV-Bericht Nr. 56*, Fachgruppe Computer Vision, Institut für Technische Informatik, TU-Berlin, Berlin 1996.
- [VA86] B.C. Vemuri and J.K. Aggarwal. 3d Model Construction from Multiple Views using Range and Intensity Data. In *Proc. IEEE Conference Vision and Pattern Recognition*, Miami Beach, Florida, pp.435-437, 1986.
- [YM97] S. Ben-Yacoub, C. Menard. Robust Axis Determination for Rotational Symmetric Objects out of Range Data. In Burger. W, Burge M., Editors, *21st Workshop of the OEAGM*, pp.197-202, Hallstatt, Austria, May 1997.