

DRONARCH - Drone Supported Reconstruction Of Natural Environment and Archaeological and Cultural Heritage

Niclas Scheuing

*Institut für Archäologische Wissenschaften, Archäologie der
Römischen Provinzen, Universität Bern*

2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Klassische Dokumentation	1
1.1.1	Fotodokumentation	1
1.1.2	Zeichnungsdokumentation	2
1.1.3	Beschrieb	2
1.2	Fehlende Dimension	2
2	Motivation	3
2.1	Ziel dieser Arbeit	3
2.2	DRONARCH	3
3	Bestehende Arbeiten	4
3.1	3D Scans	4
3.1.1	Laser Scanner	4
3.1.2	Structure from Motion und Multiview Stereo	4
4	DRONARCH	6
4.1	Entwicklung	6
4.2	Workflow	6
4.2.1	Bilder Erfassen	6
4.2.2	Verarbeitung	6
4.2.3	Auswertung	6
4.3	Fehler	6
5	Implementierung	7
5.1	Computer Vision	7
5.1.1	Structure from Motion	7
5.1.2	Multiview Stereo	7
5.2	Implementierung	7
5.2.1	Verwendete Technologie	7
6	Resultate	8
A	Begriffe	9
A.1	Point Cloud	9
A.2	Mesh	9
A.3	Orthofoto	9
A.4	Digitales Höhenmodell	9
	Bibliography	10

Kapitel 1

Einleitung

Ziel der Archäologie ist das Erhalten und Verstehen von materiellen Spuren vergangener Zeit. Dazu gehören Ausgrabungen, die gezielt archäologische Befunde freilegen und diese dabei teilweise zerstören. Die Information, die Befunde liefern können also nicht im Original erhalten werden, sondern müssen laufend dokumentiert werden. Diese Dokumentation bildet die Grundlage für die Interpretation und Auswertung durch heutige und zukünftige Archäologen. Das Erfassen dieser Informationen ist dadurch ein ausgesprochen wichtiger Punkt und die kritische Diskussion seiner Methodik verdient einige Aufmerksamkeit.

1.1 Klassische Dokumentation

Der Archäologische Dienst des Kantons Bern (ADB) schreibt in seinem Handbuch: "Zeichnungsdokumentation, Beschrieb und Fotodokumentation sind die drei Standbeine der Grabungsdokumentation." [1].

1.1.1 Fotodokumentation

Fotos bilden visuelle Informationen mit wenig Verfälschung ab. Sie zeigen die Situation auf eine sehr natürliche Weise und sind wenig von Interpretation beeinflusst. Beim Fotografieren können die Wahl von Standort, Bildausschnitt, Objektiv und Lichtverhältnis einen gewissen Einfluss auf deren Interpretation haben. Zudem ist die erreichbare Qualität eines Fotos durch die verwendete Ausrüstung beschränkt. So können wichtige Details verloren gehen, wenn schlecht fotografiert werden, oder die Fotos sind schwierig in Kontext zu setzen, wenn es an Übersichtsaufnahmen und Aufnahmedatum fehlt. Seit digitale Kameras die analoge Fotografie abgelöst haben, ist die Menge an Foto und deren Verfügbarkeit stark gewachsen (Zahlen zu Flickr: [2]). Das ist nach E. Gersbach [3] im Sinne einer zeitlich und räumlich lückenlosen Dokumentation. Doch es führt möglicherweise auch zu einer grossen Menge an wenig informativen Fotos, die insgesamt zwar schneller und einfacher gemacht worden sind, aber letztlich weniger aussagekräftig sind als weniger dafür bessere Fotos. Gute Fotos zu machen, daraus eine Auswahl zu treffen und diese mit der restlichen Dokumentation in Kontext zu setzen, kann ein beachtlicher Aufwand

sein. Automatisierte Unterstützung beim Erfassen und Auswerten könnte diesen Prozess deutlich effizienter machen.

1.1.2 Zeichnungsdokumentation

Zu Zeichnungen schreibt der ADB in seinem Handbuch [1]: "Man kann nur zeichnen was man versteht." Zeichnerische Dokumentation generalisiert, hebt Wichtiges hervor und lässt Unwichtiges weg. Für die Unterscheidung zwischen Wichtig und Unwichtig ist eine Interpretation erforderlich. Dies führt dazu, dass das Erstellen der Dokumentation vor Ort mehr Zeit erfordert da der Zeichner zu einer Interpretation gezwungen ist. Somit enthält eine Zeichnung nicht nur die Abbildung eines Befundes, sondern auch eine Interpretation dazu. Dieser reichere Informationsgehalt ist zwar für die spätere Interpretation sehr nützlich, stellt aber auch eine Verfälschung der realen Befundsituation dar.

1.1.3 Beschrieb

Fotos und Zeichnungen enthalten in erster Linie visuelle Informationen. Weitere wichtige qualitative Merkmale, etwa Materialien und Beschaffenheit, werden in Text festgehalten.

1.2 Fehlende Dimension

Fotos und Skizzen sind zweidimensionale (2D) Beschreibungen einer dreidimensionalen (3D) Realität. Es ist eine Projektion nötig, die um eine Dimension reduziert. Fotografie verwendet naturgemäß eine perspektivische Projektion (Zentralprojektion), für Skizzen hingegen kann auch eine orthographische Projektion (Parallelprojektion) verwendet werden. In jedem Fall geht eine ganze Dimension an Informationen verloren und muss mittels Abbildungen verschiedener Perspektiven vom Betrachter rekonstruiert werden. Dies erschwert die Interpretation dieser Form von Dokumentation und bedingt eine gute Wahl der Perspektive beim Erstellen der Abbildungen. Soweit wird die 3D Realität mittels verschiedener Projektionen und Techniken auf zwei Dimensionen abgebildet und im Kopf des Archäologen wieder in 3D rekonstruiert. Deutlich einfacher und intuitiver für den Betrachter ist es die 3D Struktur direkt abzubilden, zu speichern und zu betrachten.

Kapitel 2

Motivation

Die Idee 3D Strukturen in drei Dimensionen zu Erfassen und Darzustellen ist naheliegend, bedingt aber Aufnahmegeräte und eine Datenrepräsentation, die 3D Inhalte unterstützen. Dazu kommen neben aufwändigen Miniaturen nur computergestützte Verfahren in Frage.

2.1 Ziel dieser Arbeit

In dieser Arbeit werden Verfahren zur 3D Dokumentation präsentiert und deren technischen *Möglichkeiten* und *Nützlichkeit* für die Archäologie diskutiert. Insbesondere wird *Structure from Motion* (SfM, siehe Unterabschnitt 5.1.1) als einfaches und günstiges Verfahren zum Erstellen von 3D Modellen betrachtet und mit anderen Methoden verglichen. Anhand einiger Fallstudien soll die Möglichkeit der Integration in bestehende Grabungs- und Dokumentationspraxis und deren Vor- und Nachteile überprüft werden. Die Hauptpunkte sind dabei:

- *Mehrwert* der 3D Dokumentation gegenüber der 2D Dokumentation
- *Aufwand* zum Erstellen eines 3D Modells
- *Qualität* und Fehler eines gewonnen Modells
- *Integration* anderer Dokumentationen, insbesondere GIS-Daten

2.2 DRONARCH

Als technische Grundlage für die Fallstudien dient die Software *DRONARCH* [4], die im Rahmen dieser Arbeit geschrieben wurde und das SfM Verfahren verwendet. Im Gegensatz zu bestehenden Publikationen, die sich mit SfM in der Archäologie beschäftigen [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], verwendet und publiziert *DRONARCH* nur Open Source Software und will ein Werkzeug bieten mit wenig Geld und Zeitaufwand 3D Modell für den archäologischen Einsatz zu erstellen.

Kapitel 3

Bestehende Arbeiten

Unter den Sammelbegriffen *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (CAA) und *Computational* oder *Digital Archaeology* haben verschiedene Verfahren aus der Informatik, insbesondere der Geoinformationssysteme (GIS), Computer Vision und Photography, Anwendung in der Archäologie gefunden. Man experimentiert mit automatischer Auswertung von Satellitenbildern und verwendet GIS zur Lokalisierung und Registrierung von Fundorten [12], arbeitet mit unbemannten Luftfahrzeugen und Wärmebildkameras [13] und verwendet Helikites für hoch aufgelöste Luftaufnahmen [6].

3.1 3D Scans

Durch die Entwicklung von Verfahren aus der Computer Vision Forschung, ist es möglich auf zahlreiche Arten und zerstörungsfrei 3D Scans von Objekten zu erstellen.

3.1.1 Laser Scanner

Mit Laser Scannern kann ein sehr präzises Modell eines Objektes, oder auch einer ganzen Grabung gemacht werden. Galeazzi et al. [5] testen dieses Verfahren in Höhlen und im Wald und beschreiben einen grossen Aufwand beim Installieren und Betrieben des verwendeten Scanners. Die Rechenzeit am Computer beträgt mehrere Stunden pro Scan und generiert als Resultat ein sehr detailliertes Mesh (siehe Abschnitt A.2). Briese et al. [8] verwenden einen mobilen auf einem Auto montierten Scanner um das Heidentor in Carnuntum (Österreich) zu erfassen, ein Verfahren, das in den meisten Fällen schlecht eingesetzt werden kann. In beiden Fällen ist die Ausrüstung und die dazugehörige Software recht teuer und erfordert ein gewisses Mass an Fachwissen zur korrekten Bedienung.

3.1.2 Structure from Motion und Multiview Stereo

Durch die Verbindung der beiden Verfahren *Structure from Motion* (SfM) und *Multiview Stereo* (MvS) (siehe Unterabschnitt 5.1.1 und Unterabschnitt 5.1.2) kann aus unsortierten, nicht beschrifteten und nicht kalibrierten Bildern ohne

grosse Nutzereingabe 3D Modelle erstellt werden [14, 15, 16]. Diese Verfahren wurden schon verwendet um mit Bildern aus dem Internet Monumente und ganze Städte zu rekonstruieren [15, 17, 18, 19].

De Reu et al. [9] verwendeten dieses Verfahren für die Dokumentation verschiedener Grabungen und konnten somit neben 3D Modellen auch Orthofoto (siehe Abschnitt A.3) und digitale Höhenmodelle (DTM, siehe Abschnitt A.4) erstellen. Sie beziffern den Fehler ihrer Modelle mit einem RMSE (root-mean-square error) von meist weniger als 10cm.

Plets et al. [11] verwenden ebenfalls von Hand erstellte Fotos für die 3D Dokumentation von über 300 Petroglyphen im Altai Gebirge. Sie beschreiben das Verfahren als leicht anzuwenden und exakt und verwenden ebenfalls DTMs.

Aus der einzigen bekannten Videoaufnahme einer Kammer der grossen Pyramide des Königs Khufu, rekonstruieren Kawae et al. [10] eine *Dense Point Cloud* (siehe Abschnitt A.1). Das verwendete Filmmaterial ist aus einer TV Produktion und zeigt meist den Moderator und das Innere der Kammer im Hintergrund. Trotz des ungeeigneten Bildmaterials gelingt es ihnen aufgrund des 3D Modells genaue Pläne der Kammer zu erstellen.

Verhoeven et al. [7, 6] arbeiten mit Luftaufnahmen als Grundlage und erstellen damit 3D Modelle, die sie mittels einzelner Vermessungspunkte orientieren und Skalieren. Durch diese Positionierung können die Modell mit bestehenden GIS in Zusammenhang gebracht werden.

Brise et al. [8] und Galeazzi et al. [5] vergleichen SfM und MvS mit Laser Scannern und kommen zum Schluss, dass Ersteres durch seine Flexibilität, sein nahtloses Einfügen in bestehende Grabungspraxis und seine zeit- und kostengünstige Anwendung eine ernst zu nehmende Alternative zu Laser Scannern sind. Sie beschreiben aber auch Szenarien in denen SfM und MvS schlecht oder gar nicht funktionieren und beobachten eine ungleichmässige Qualität in den erreichten Modellen.

Kapitel 4

DRONARCH

DRONARCH soll

4.1 Entwicklung

4.2 Workflow

4.2.1 Bilder Erfassen

4.2.2 Verarbeitung

4.2.3 Auswertung

4.3 Fehler

Kapitel 5

Implementierung

5.1 Computer Vision

5.1.1 Structure from Motion

5.1.2 Multiview Stereo

5.2 Implementierung

5.2.1 Verwendete Technologie

Kapitel 6

Resultate

Anhang A

Begriffe

A.1 Point Cloud

Eine Point Cloud (Punktwolke) ist eine Menge von Punkten im 3D Raum. Die Punkte sind nicht miteinander verbunden, noch enthalten sie Informationen über Orientierung oder benachbarte Punkte. Die meisten 3D Scanner produzieren Point Clouds, die zu einem Mesh weiterverarbeitet werden können. Sind die Punkte dicht beieinander, spricht man von einer *dense* (dicht) Point Cloud. Ansonsten nennt man sie *sparse* (licht, locker).

A.2 Mesh

Verbindet man mehrere Punkte zu einer Fläche, meist zu Dreiecken, enthält man ein Mesh. Dies hat eine klare Orientierung und setzt Punkte in Verbindung mit ihren Nachbarn. Enthält ein Mesh keine Löcher, nennt man es watertight (wasserdicht).

A.3 Orthofoto

A.4 Digitales Höhenmodell

Literaturverzeichnis

- [1] *Handbuch ADB*??? Archäologischer Dienst des Kantons Bern, ????
- [2] F. Michel. How many public photos are uploaded to flickr every day, month, year? [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/franckmichel/6855169886/>
- [3] E. Gersbach, *Ausgrabung heute: Methoden und Techniken der Feldgrabung*, 3rd ed. Darmstadt, Deutschland: Wiss. Buchges., 1998.
- [4] N. Scheuing. Dronarch on github. [Online]. Available: <https://github.com/DRONARCHers/DRONARCH>
- [5] F. Galeazzi, S. Lindgren, and H. Moyes, “Comparison of laser scanning and dense stereo matching techniques in diverse environmental conditions and light exposure,” in *18th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*, 2013. [Online]. Available: http://www.chnt.at/wp-content/uploads/Galeazzi.etal_2014.pdf
- [6] G. VERHOEVEN, D. Taelman, and F. VERMEULEN, “Computer vision-based orthophoto mapping of complex archaeological sites: The ancient quarry of pitaranha (portugal–spain),” *Archaeometry*, vol. 54, no. 6, pp. 1114–1129, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4754.2012.00667.x>
- [7] G. Verhoeven, “Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photostan,” *Archaeological Prospection*, vol. 18, no. 1, pp. 67–73, 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/arp.399>
- [8] C. Briese, G. Zach, G. Verhoeven, C. Ressel, A. Ullrich, N. Studnicka, and M. Doneus, “Analysis of mobile laser scanning data and multi-view image reconstruction,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B5, 2012, pp. 163–168, talk: XXII ISPRS Congress, Melbourne; 2012-08-25 – 2012-09-01. [Online]. Available: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/163/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-163-2012.pdf>
- [9] J. D. Reu, G. Plets, G. Verhoeven, P. D. Smedt, M. Bats, B. Cherretté, W. D. Maeyer, J. Deconynck, D. Herremans, P. Laloo, M. V. Meirvenne, and W. D. Clercq, “Towards a three-dimensional cost-effective registration of the

- archaeological heritage,” *Journal of Archaeological Science*, vol. 40, no. 2, pp. 1108 – 1121, 2013. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312003949>
- [10] Y. Kawae, Y. Yasumuro, I. Kanaya, and F. Chiba, “3d reconstruction of the ”cave” of the great pyramid from video footage,” in *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 2013, vol. 1, Oct 2013, pp. 227–230. [Online]. Available: http://www.academia.edu/5230852/3D-Reconstruction_of_the_Cave_of_the_Great_Pyramid_from_Video_Footage
 - [11] G. Plets, W. Gheyle, G. Verhoeven, J. D. Reu, J. Bourgeois, J. Verhegge, and B. Stichelbaut, “Three-dimensional recording of archaeological remains in the Altai Mountains ,” *Antiquity*, vol. 86, no. 333, pp. 884–897, 2012. [Online]. Available: <http://antiquity.ac.uk/ant/086/ant0860884.htm>
 - [12] A. Bevan and M. Lake, *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. Institue Of Archaeology, University College London, 2013.
 - [13] J. Casana, J. Kantner, A. Wiewel, and J. Cothren, “Archaeological aerial thermography: a case study at the Chaco-era Blue J community, New Mexico,” *Journal of Archaeological Science*, vol. 45, no. 0, pp. 207–219, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440314000648>
 - [14] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 1st ed. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2010. [Online]. Available: <http://szeliski.org/Book/>
 - [15] S. Agarwal, Y. Furukawa, N. Snavely, I. Simon, B. Curless, S. M. Seitz, and R. Szeliski, “Building rome in a day,” *Commun. ACM*, vol. 54, no. 10, pp. 105–112, Oct. 2011. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2001269.2001293>
 - [16] Y. Furukawa and J. Ponce, “Accurate, dense, and robust multi-view stereopsis,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 8, pp. 1362–1376, 2010. [Online]. Available: <http://www.cse.wustl.edu/~furukawa/papers/pami08a.pdf>
 - [17] Y. Furukawa, B. Curless, S. M. Seitz, and R. Szeliski, “Towards internet-scale multi-view stereo,” in *CVPR*, 2010. [Online]. Available: <http://grail.cs.washington.edu/pub/papers/furukawa2010tim.pdf>
 - [18] J.-M. Frahm, P. Fite-Georgel, D. Gallup, T. Johnson, R. Raguram, C. Wu, Y. hung Jen, E. Dunn, S. Lazebnik, and M. Pollefeys, “Building rome on a cloudless day,” 2010. [Online]. Available: http://web.engr.illinois.edu/~slazebni/publications/eccv10_rome.pdf
 - [19] N. Snavely, S. M. Seitz, and R. Szeliski, “Photo tourism: Exploring photo collections in 3d,” in *ACM SIGGRAPH 2006 Papers*, ser. SIGGRAPH ’06. New York, NY, USA: ACM, 2006, pp. 835–846. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1179352.1141964>

- [20] C. Wu, S. Agarwal, B. Curless, and S. M. Seitz, "Multicore bundle adjustment," in *In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, 2011, pp. 3057–3064. [Online]. Available: <http://grail.cs.washington.edu/projects/mcba/>
- [21] N. Snavely. Bundler: Structure from motion (sfm) for unordered image collections. [Online]. Available: <http://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler/>
- [22] Y. Furukawa. Clustering views for multi-view stereo (cmvs). [Online]. Available: <http://www.di.ens.fr/cmvs/>
- [23] Y. Furukawa and J. Ponce. Patch-based multi-view stereo software (pmvs - version 2). [Online]. Available: <http://www.di.ens.fr/cmvs/>
- [24] G. Klein and D. Murray, "Parallel tracking and mapping for small AR workspaces," in *Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07)*, Nara, Japan, November 2007. [Online]. Available: <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/KleinMurray2007ISMAR.pdf>
- [25] J. Engel, J. Sturm, and D. Cremers, "Scale-aware navigation of a low-cost quadcopter with a monocular camera," *Robotics and Autonomous Systems (RAS)*, vol. 62, no. 11, pp. 1646–1656, 2014. [Online]. Available: http://vision.in.tum.de/_media/spezial/bib/engel14ras.pdf
- [26] H. Alvarez, L. Paz, J. Sturm, and D. Cremers, "Collision avoidance for quadrotors with a monocular camera," in *Proc. of The 12th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, 2014. [Online]. Available: https://vision.in.tum.de/_media/spezial/bib/alvarez14iser.pdf
- [27] MeshLab. Meshlab. [Online]. Available: <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [28] M. Dellepiane, N. Dell Unto, M. Callieri, S. Lindgren, and R. Scopigno, "Archeological excavation monitoring using dense stereo matching techniques," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 14, no. 3, pp. 201–210, May-June 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.01.011>. [Online]. Available: <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2013/DDCLS13>