

Zur digitalen Projektion und Visualisierung von Türmen

ELLI PETSAS, Athen

Zusammenfassung

Dieser Beitrag behandelt die Abwicklung zylinder- und kegelförmiger Oberflächen, die öfters in architekturphotogrammetrischen Dokumentationen auftreten und als Frage der Einzelbildphotogrammetrie mit Amateurkameras zu betrachten sind. Die Abwicklungs- und Visualisierungsvorgänge sind umgerissen, und photo-texturierte 3D Modelle sind präsentiert an den Beispielen von Türmen.

Summary

This contribution discusses the development of cylindrical and conic surfaces, which are often encountered in architectural documentation and may be regarded as a question of single-image photogrammetry with amateur cameras. The processes of development and visualisation are outlined, and photo-textured 3D models are presented at the examples of towers.

Einleitung

In der architekturphotogrammetrischen Dokumentation trifft man sehr oft Oberflächen, die regelmäßig gekrümmt sind und meistens als mathematische Körper 2^{ter} Ordnung beschrieben werden können. Am häufigsten handelt es sich dabei von Zylindern, Kegeln und Sphären. Im allgemeinen, bietet in solchen Fällen das Endprodukt einer konventionellen Orthogonalprojektion den Architekten bzw. den Archäologen keine akzeptable Lösung, d. h. solche Objekte sollen in anderen geeigneten Projektionen verebnet werden (THEODOROPOULOU, 2000). Um den kostengünstigen Charakter der gegenwärtigen Architekturphotogrammetrie zu behalten, sollten die entsprechenden Verfahren durch einfache Mittel ausführbar sein, vor allem durch die Bearbeitung von Klein- oder Mittelformatbildern auf Standard-PCs.

Aber welche Abbildung ist jeweils die am besten geeignete? Die Frage ist auf keinem Fall trivial bei doppelt gekrümmten Oberflächen (z. B. bei sphärischen Gewölben). In manchen Fällen könnte man vielleicht von Anfang an eine gegebene kartographische Abbildung wählen, wie im Fall der abstandstreuen zylindrischen Abbildung für die Darstellung von Globusoberflächen (SACHER et al., 1999). Aber das ist nicht immer möglich, vor allem in der häufigen Situation, wo die Benutzer des Endproduktes selbst nicht in der Lage sind, eine bestimmte Projektion festzulegen. Als einzige Alternative erscheint

dann das Experimentieren mit verschiedenen Abbildungen, abhängig von den Forderungen der jeweiligen Anwendung. Das war der Fall im Beispiel der digitalen Auswertung von byzantinischen Wandgemälden auf sphärischen Oberflächen, wo sich die endgültige Wahl der Mollweide Abbildung als Ergebnis mehrerer Transformationsversuchen ergab (KARRAS et al., 1997).

Kegel und Zylinder, dagegen, sind abwickelbare Flächen und können ohne weiteres mit einheitlichem Maßstab in die Ebene entfaltet werden (KARRAS et al. 1996; HEMMLEB & WIEDEMANN, 1997; THEODOPOULOU et al., 2001). Die geometrisch gerechte Darstellung repräsentiert die zweifellos wichtigste Forderung einer Dokumentation. Eine photorealistische Visualisierung mit Bildtextur ist jedoch oft dazu verlangt. Das digitale Abwicklungsprodukt stellt die dafür ideale Textur dar. Dieser Beitrag behandelt kurz die Entfaltung und die photo-texturierte Visualisierung von zylindrischen bzw. kegelförmigen Oberflächen am Beispiel von drei Türmen.

1 Der Abwicklungsvorgang

Die digitale Auswertung von Objekten, die näherungsweise als mathematische Körper zu betrachten sind, ist im Prinzip eine Methode der Einzelbild-photogrammetrie. Jeder Objektpunkt einer konkaven bzw. konvexen Oberfläche ergibt sich eindeutig als der Schnitt des entsprechenden Strahles eines innerlich und äußerlich orientierten Bildbündels mit dem ausgleichenden Körper. Da zu allen Objektpunkten entsprechende Punkten der Abwicklungsebene (und, allgemeiner, der Projektionsebene) eindeutig korrespondieren, ist damit auch die Korrespondenz zwischen Bild- und Abwicklungskordinatensystem eindeutig festgelegt. In diesem Sinn, Rückprojektion von der Abwicklungsebene auf die Oberfläche und davon hinaus auf die Bildebene erlaubt die Interpolation der gesuchten Grauwerte des digitalen Endproduktes (KARRAS et al. 1996). Ergebnis dieses Prozesses sind abgewickelte Bilder, die dann zu einem einheitlichen Mosaik verknüpft werden sollen. Das erfolgt hier manuell über den Hintergrund der 'enfalteten' Paßpunkte.

Dieser Vorgang setzt a) die bekannte Gleichung des Körpers und b) bekannte Bildorientierungen voraus. Für (a) wird ein Objektpunkthaufen benötigt, der geodätisch, oder photogrammetrisch durch eine Bündelblockausgleichung, gemessen sein kann. Das letztere würde mehr überlappende Bilder als sonst nötig für die Auswertung verlangen, in sich ein Problem bei der Aufnahme hoher Objekte aus unkonventionellen Kammerplattformen (siehe Beispiele 2

und 3). Dazu, abhängig von Objektform und Umgebung, kann es sein, daß man mit mehreren Zoom-Objektiven und -Fokussierungen aufnehmen muß, was komplizierte 'block-variante' Bündelblockausgleichungen hervorbringen würde (siehe Beispiel 3).

Aus diesen Gründen wurden hier alle Objektpunkte, die auch als Paßpunkte dienten, geodätisch erfaßt. Die innere Orientierung der meisten Aufnahmen war völlig unbekannt. Ausnahme war die von vornherein bekannte Radialverzeichnungs-korrektur eines Weitwinkelobjektivs. Für den Rückwärtseinschnitt als auch für den Resamplingsprozeß wurde deshalb die *direkte lineare Transformation* oder DLT (ABDEL-AZIZ & KARARA, 1971) mit zahlreichen Paßpunkten eingesetzt, die für unkalibrierte Amateurbilder besonders gut geeignet ist.

2 Genauigkeitsüberlegungen

Die Genauigkeit der Projektion ist vor allem vom Schnittwinkel des jeweiligen Bündelstrahles mit der mathematischen Oberfläche bedingt, durch welchen sich die Meßfehler und die Restfehler der äußeren Orientierung in die Projektionsebene propagieren. Dieser Schnittwinkel muß deshalb relativ groß sein, d. h. ein zylindrischer oder kegelförmiger Körper sollte im allgemeinen aus wenigstens sechs, um ihn gut verteilten Bildern abgewickelt werden (KARRAS et al. 1996). Aus derselben Hinsicht ist auch der Einsatz von Normal- anstelle von Weitwinkelobjektiven zu bevorzugen. Deformationen bzw. Abweichungen des realen Objekts vom idealen ausgleichenden Körper verursachen Versetzungen der Abbildung, die ebenfalls vom jeweiligen Schnittwinkel abhängen. Solche 'gefährlichen' Teile der Oberfläche sind möglichst frontal aufzunehmen.

3 Visualisierung

Die maßstabsgerechte Information einer Auswertung ist, wie gesagt, die primäre Forderung der Dokumentation. Heute, jedoch, erweisen sich oft auch visuelle Produkte als besonders nutzbar, z. B. für die archäologische und architekturelle Animierung oder für den 'virtuellen Tourismus'. In dieser Hinsicht wächst die Bedeutung der Web-basierten als auch frei und leicht zu 'browsenden' VRML-Modellen, insbesondere mit realistischer, aus den Originalbildern entnommener, Phototextur.

Im vorliegenden Fall braucht man eigentlich das Bildmaterial zylindrischer Oberflächen nicht weiter zu bearbeiten, denn das Abwicklungsmosaik selbst stellt eine maßstabstreu entzerrte Textur dar; man

soll bloß das Mosaik an allen Öffnungen transparent machen. Für einen Kegel, dagegen, braucht man die Abwicklung als orthogonales Bild, nämlich in einer Abbildung, deren Maßstab in der Richtung der Kegelachse abnimmt (KARRAS et al., 2001). Das 3D Modell ist einfach zu konstruieren, und auf das Geländemodell zu stellen und zu orientieren. Um den Eindruck der 'Dicke' an den Öffnungen eines z. B. konvexen Körpers zu erzeugen, dupliziert man mehrmals (so dicht und tief wie nötig) die Körperoberfläche im Inneren mit einem stetig abnehmenden Durchmesser. Ist übrigens für die innere Oberfläche keine Textur vorhanden, so könnte man auch diese mit demselben Bildmaterial bekleiden lassen.

4 Praktische Anwendungen

Der eben umschriebene Abwicklungs- und Visualisierungsvorgang wurde in drei Fällen angewandt.

Beispiel 1: Kleiner zylindrischer Wasserturm

Das Objekt, dessen Höhe 2.5 m beträgt, besitzt einen Radius von 1.25 m; sein Kronenradius ist 1.35 m. Es wurde aus 6 Standpunkten auf 35 mm Film mit einer Brennweite von 70 mm umgefaßt. Der ausgleichende Zylinder stützte sich auf 24 Paßpunkten und zeigte eine mittlere Radialabweichung von ungefähr 1 cm. Die 2D Ähnlichkeitstransformation zwischen Mosaik und 'entfalteten' Paßpunkten erlaubte eine Genauigkeitsschätzung von 1 cm auf der Abwicklungsebene (KARRAS et al., 1996). Zwei Ansichten des photo-realistischen VRML- Modells sind in Abb. 1 (rechts) zu sehen. Dazu sieht man auch zwei aus den 6 Originalaufnahmen (Abb. 1, links).

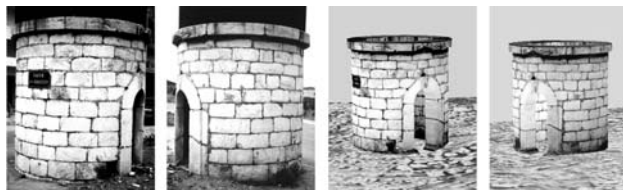


Abb. 1: Original- und virtuelle Bilder des Wasserturms.

Beispiel 2: Antiker zylindrischer Turm

Die Verfasserin wurde vom griechischen Kultusministerium mit der digitalphotogrammetrischen Auswertung im Maßstab 1:25 der äußeren zylinderförmigen Oberfläche eines, archäologisch bedeutenden, antiken (~300 v. Chr.) Turms beauftragt. Das Monument, mit äußerem Durchmesser von 8.5 m und einer Höhe von 12 m, befindet sich auf relativ flachem Gelände in einer isolierten Gegend der Insel Ikaria (Ägäisches Meer) und ist zugänglich nur zu Fuß.

Der Turm hat schwere Deformationen erlitten, die sich stellenweise als erhebliche Abweichungen vom idealen Zylinder ausdrücken. Trotz der Ausschaltung dieser Stellen vom Ausgleichvorgang, in dem 90 Paßpunkte teilnahmen, betrug die mittlere Radialabweichung 6.8 cm, was zum Teil den stark gewölbten Steinen zuzuschreiben ist. Zum Zweck der Frontalaufnahme wurde eine leichte 35 mm Kamera mittels einer zusammensteckbaren Fischrute gehoben, die durch zusätzliche Stangen bis zu 9 m reichen könnte (Abb. 2, links) und Aufnahmen guter Qualität mittleren Maßstabs $\sim 1:300$ erlaubte (Abb. 2, Mitte und rechts). Durch dieses Mittel wurde der Turm von 8 Standpunkten aus zwei Höhen photographiert, wobei für jedes Bild nicht weniger als 15 Paßpunkte vorhanden waren. Alle Bilder wurden danach mit einer Pixelgröße im Objekt-Abwicklungsraum von 2.5 mm entfaltet und zu einem Mosaik geometrisch und radiometrisch manuell editiert. Das Mosaik wurde zuletzt den Paßpunkten durch Affintransformation angepaßt, mit einer mittleren Abweichung um 3 cm. Diese Genauigkeitsschätzung beschränkt sich bloß auf die Paßpunkte, die den ausgleichenden Körper bestimmen, d. h. die Fehler in Stellen der Deformation können nicht genau geschätzt werden (THEODOROPOULOU et al., 2001). Die Genauigkeit der 3 cm ist zwar zu groß für den gewünschten Maßstab, aber von vornherein lag es fest, daß man mit so einer Genauigkeit rechnen mußte wegen der Objektabweichungen vom 'Soll-Zustand'.

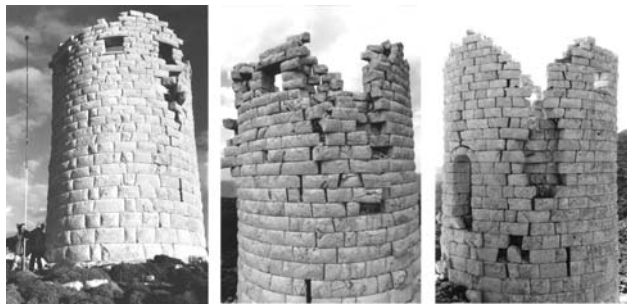


Abb. 2: Der zylindrische antike Turm.

Das 3D Zylindermodell wurde mit der Textur des Abwicklungsmosaiks bekleidet und auf das geodätisch gemessene, ebenfalls photo-texturierte, Gelände maßstabsgerecht angepaßt (KARRAS et al., 2001). In Abb. 3 sind Ansichten des VRML-Modells zu sehen.

Beispiel 3: Antiker kegelförmiger Turm

Eine weitere Beauftragung seitens des Kultusministeriums betraf die photogrammetrische Auswertung im selben Maßstab eines anderen Turms, diesmal kegelförmigen, aus derselben Epoche. Dieser Turm hat äußere Durchmesser um 10 m im Schwellenniveau und um 8.5 m am oberen Rand, während seine Höhe

bis zu 19 m reicht. Das Monument, ebenfalls zugänglich nur zu Fuß, liegt auf der Insel Andros des Ägäischen Meeres auf steil abfallendem Gelände.

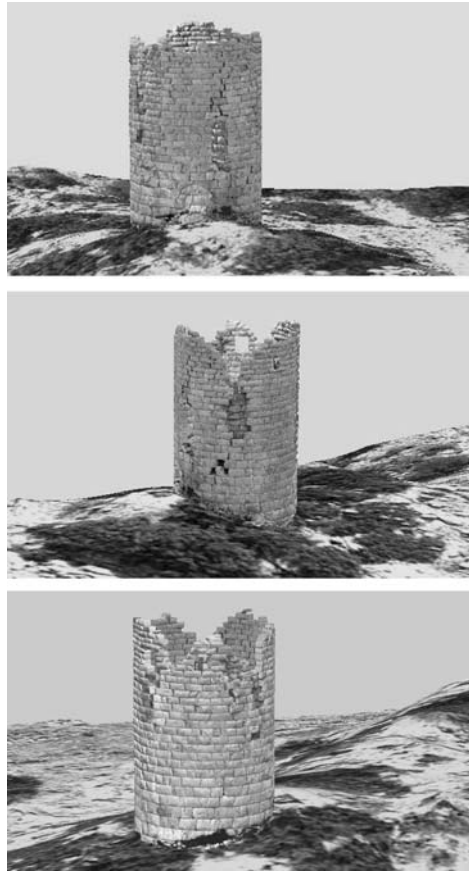


Abb. 3: Photo-texturierte Bilder des Turms von Abb. 2.

Auch hier kann man erhebliche, die Regelmäßigkeit der Oberfläche störende, Deformationen feststellen, die von der Ausgleichung ausgeschlossen wurden. Die mittlere Abweichung aus 200 Objektpunkten betrug 5.2 cm normal zu der Oberfläche. Wegen der Höhe des Turmes erwies sich hier der Einsatz des obengenannten Kameraträgers als unpraktisch. Stattdessen wurden eine klein- und eine mittelformatige Kamera benutzt mit verschiedenen Zoom-Objektiven, um den Turm möglichst frontal aus der hügeligen Umgebung aufzunehmen. Man schaffte es sogar auch von sehr großen Entfernungen aufzunehmen, dank einer Brennweite von fast 1 m, wie sie aus dem Zusammenwirken eines 300 mm Tele-Objektivs mit zwei 1.6x bzw. 2x Tele-Konvertern resultierte. Das Monument wurde auf diese Weise von 7 Standpunkten aus zwei Höhen aufgenommen. Auch hier war jedes Bild mit vielen Paßpunkten vorgesehen. In Abb. 4 sind eine allgemeine Ansicht (links) und zwei der benutzten Bilder zu sehen. Die Pixelgröße der Abwicklung war ebenfalls 2.5 mm. Der mittlere Restfehler der Affintransforma-

tion zwischen Mosaik und Paßpunkten ergab sich als 4 cm (THEODOROPOULOU et al., 2001).

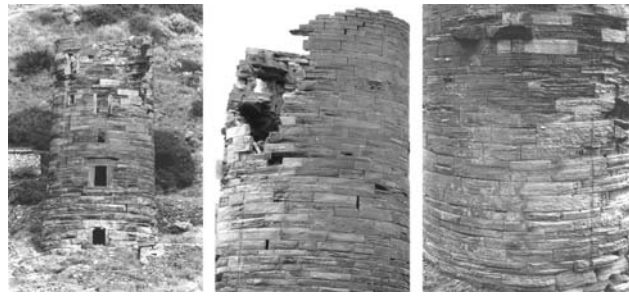


Abb. 4: Der kegelförmige antike Turm.

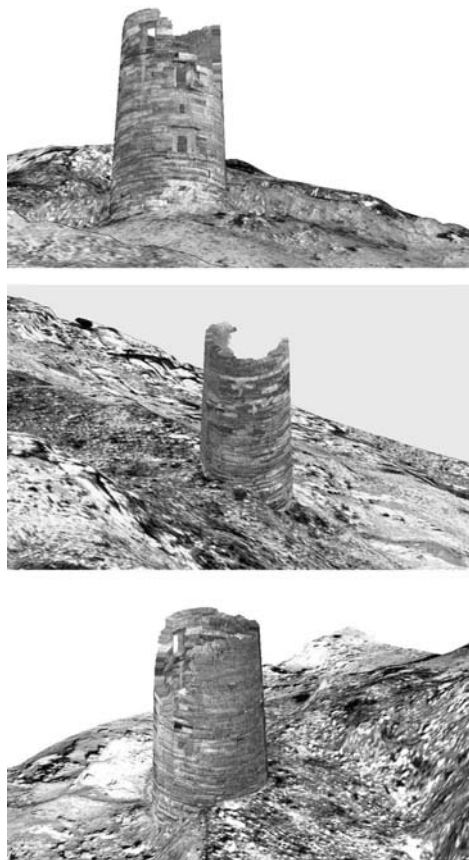


Abb. 5: Photo-texturierte Bilder des Turms von Abb. 4.

Für die erfolgreiche Photo-Texturierung eines 3D Kegelmodells braucht man, wie schon erwähnt, die 'gekrümmte' Form des Mosaiks so umzubilden, daß es das orthogonale Digitalbild völlig besetzt. Der Kegel wurde danach auf des Geländemodell orientiert und dessen erheblichen Höhenunterschieden angepaßt (KARRAS et al., 2001). In Abb. 5 sind Ansichten des VRML-Modells zu sehen.

5 Schlußwort

Regelmäßig gekrümmte Oberflächen kommen öfters in der Architekturphotogrammetrie vor und sind in

geeigneten Abbildungen darzustellen. Dieser einbild-photogrammetrischen Frage kann man, in der Regel, kostengünstig mit einfachen Mitteln entgegengehen, nämlich mit Amateurkameras und eigenem Software. Bisherige Erfahrungen, wie sie auch hier bei der Abwicklung zylinder- und kegelförmiger Türme vorgestellt wurden, sprechen dafür, daß man auch unter ungünstigen Aufnahmebedingungen Produkte hoher Qualität erwarten kann. Die Visualisierung mit Photo-Textur erscheint dann als relativ einfach.

Zum Schluß seien zwei offene Fragen erwähnt. Das Problem der unabwickelbaren Oberflächen erscheint als komplizierter, insbesondere soweit es die Wahl der treffenden Projektion betrifft. Eine weitere und vielleicht interessantere Frage würde lauten: wie könnte man eine gekrümmte Oberfläche, die stellenweise von dem entsprechenden analytischen Körper erheblich abweicht, genauer verebnen, nämlich mit Einbeziehung ihrer eigentlich existierenden Form?

Danksagung

Besonderer Dank wird der Studenten AMALIA DIMAROGONA und STEFANOS KOUROUPIS für ihre Teilnahme an die Vorbereitung der virtuellen Produkte ausgedrückt.

Literatur

ABDEL-AZIZ, Y. I., KARARA, H. M., 1971: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church, Virginia, S. 1-18.

HEMMLER, M. & WIEDEMAN, A., 1997: Digital rectification and generation of orthoimages in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. XXXII, Bd. 5C1B, S. 261-267.

KARRAS, G. E., PATIAS, P. & PETSAS, E., 1996: Monoplotting and photo-unwrapping of developable surfaces in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. XXXI, Bd. 5, S. 290-294.

KARRAS, G.E., PATIAS, P., PETSAS, E. & KETIPIS, K., 1997: Raster projection and development of curved surfaces. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. XXXII, Bd. 5C1B, S.179-185.

KARRAS, G.E., PETSAS, E., DIMAROGONA, A., KOUROUPIS, S., 2001: Photo-textured rendering of developable surfaces in architectural photogrammetry. International Symposium on Virtual & Augmented Architecture, Dublin,

21-22 Juni (in Druck bei Springer Verlag).

SACHER, G., HEMMLEB, M., SCHEER, A., 1999: Abbildung von Globusoberflächen in die Ebene mit Hilfe digitaler photogrammetrischen Methoden. Der Globusfreund, vol. 47/48, S. 305-320.

THEODOROPOULOU, I., 2000: The definition of reference surfaces for architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. XXXIII, Bd. 5, S. 830-837.

THEODOROPOULOU, I., PETSAS, E., KARRAS, G.E., 2001: Digital surface development of large cylindrical and conic structures with a single-image technique. The Photogrammetric Record, vol. 17(97), S. 25-37.

Anschrift der Verfasserin

Elli Petsa

Fachbereich Vermessungswesen

Fachhochschule Athen

GR-12210 Athen, Griechenland

tel.: +30 1 8622884

e-mail: petsa@teiath.gr