

Publikationen der Deutschen  
Gesellschaft für Photogrammetrie,  
Fernerkundung und Geoinformation e.V.



**Band 21**

**2012**



**Vorträge**

**32. Wissenschaftlich-Technische  
Jahrestagung der DGPF**

14. – 17. März 2012  
in Potsdam

*Erblicke – Perspektiven für die Geowissenschaften*

ISSN 0942-2870

Eckhardt Seyfert, Hrsg.

ISSN 0942-2870

Publikationen der  
Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung  
und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Band 21 487 S., Potsdam 2012  
Hrsg.: Eckhardt Seyfert

© Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung  
und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Oldenburg 2008

Zu beziehen durch:

Geschäftsstelle der DGPF  
c/o EFTAS GmbH  
Oststraße 2-18  
D-48145 Münster  
Tel.: (0251) 133 070, Fax: (0251) 133 0733, E-Mail: [klaus.komp@eftas.com](mailto:klaus.komp@eftas.com)

Bearbeitung:

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg  
Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam  
Tel.: (0331) 8844 -229, Fax: (0331) 8844-126

# Linienbasiertes Matching von 3D-Gebäudemodellen mit IR Luftbildsequenzen zur automatischen Texturgewinnung

DOROTA IWASZCZUK, LUDWIG HOEGNER, MICHAEL SCHMITT & UWE STILLA

*Zusammenfassung: Wärmetexturen, die der Detektion und Dokumentation von Wärmeleckagen in der Gebäudehülle dienen können, werden immer häufiger aus IR Daten abgeleitet und den Gebäudemodellen zugeordnet. Bei der Erfassung sind die vom GPS/INS-System registrierten Parameter der äußeren Orientierung hilfreich. Jedoch sind die direkt bestimmten Parameter oft nicht ausreichend. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Verfeinerung der äußeren Orientierung der Kamera dargestellt. Dafür wird eine Registrierung des Gebäudemodells mit den georeferenzierten Bilddaten durchgeführt. Zuerst werden in der Bildsequenz lineare Strukturen extrahiert und mit Liniensegmenten approximiert. Aus dem Kontrast und der Länge eines Liniensegmentes wird die Zuverlässigkeit der Features bestimmt. Als nächstes wird das Modell mit den angenäherten Orientierungsparametern ins Bild projiziert. Dann werden die Korrespondenzen gesucht, die sich aus der Entfernung und Steigung des Liniensegmentes ergeben. In den weiteren Schritten sollen aus den Korrespondenzen mittels einer Ausgleichsrechnung die Orientierungsparameter der Kamera neu berechnet werden.*

## 1 Einleitung

3D-Gebäudemodelle finden in Bereichen wie z.B. Navigation, Krisenmanagement, Verkehrs-, Stadtplanung und Lärmuntersuchung Anwendung. Die Gebäudemodelle werden oft auch um zusätzliche Informationen, z.B. Texturen, Fassadenstrukturen, oder zeitliche Änderungen erweitert. Die Wärmetexturen, die der Detektion und Dokumentation von Wärmeleckagen in der Gebäudehülle dienen können, werden immer häufiger aus IR Daten abgeleitet und den Gebäudemodellen zugeordnet. Bei der Registrierung sind die vom GPS/INS-System registrierten Parameter der äußeren Orientierung hilfreich. Jedoch sind die direkt bestimmten Parameter oft nicht ausreichend, um eine präzise Texturzuordnung durchzuführen. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Verfeinerung der äußeren Orientierung der Kamera dargestellt. Dafür wird eine Registrierung des Gebäudemodells mit den georeferenzierten Bilddaten durchgeführt.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Methoden zur Registrierung Bilder luftgetragener Kameras entwickelt. FRUEH et al. projizierte das 3D-Gebäudemodell mit verschiedenen, zufälligen Parametern ins Bild und korrelierte die Modelllinien mit den extrahierten Liniensegmenten. Aus mehreren Versuchen wurde dazu die Kameraposition mit der besten Anpassung ausgewählt. Andere Autoren (DING & ZAKHOR, 2008; CHAM et al., 2010; FOERSTNER, 2010) wenden sog. „Manhattan“ oder „Legoland scenes“ mit dominanten horizontalen und vertikalen Richtungen an und berechnen die Ausrichtung der Kamera mithilfe der Fluchtpunkte.

## 2 Linienbasiertes Matching

Dieser Beitrag beschreibt ein Verfahren zur Registrierung von 3D Gebäudemodellen mit IR Aufnahmen. Diese Methode basiert auf Zuordnung von Linien und der Neuberechnung der äußere Orientierung der Kamera mit der Methode der kleinsten Quadrate. Die Linien wurden fürs Matching ausgewählt, weil sie am genauesten den realen Gebäudestrukturen entsprechen. In den IR Bildern sind typischerweise die Kanten zwischen Wänden und Dächern am einfachsten zu erkennen. Dies liegt meistens an den unterschiedlichen verwendeten Materialien bei Dächern und Wänden und ihren verschiedenen Emissionsgraden. Zwei Körper mit gleicher Temperatur können unterschiedlich starke Infrarotstrahlung emittieren und dadurch im IR Bild verschiedene Grauwerte annehmen.

### 2.1 Extraktion von Linien im Bild

Bevor das Model mit dem Bild koregistriert werden kann, müssen im IR Bild passende Features extrahiert werden. Im Vergleich zu VIS Aufnahmen sind IR Bilder oft kontrastarm. Die spektrale Information bei einem IR Bild ist nicht verfügbar und es werden auch keine Spektralkanäle differenziert. Als Folge dessen ist das IR Bild ein Grauwertbild.

### 2.2 Bestimmung der Zuverlässigkeit

Die Liniensegmente der IR Bilder werden mit verschiedenen Parametern extrahiert. Die minimale Amplitude wird stufenweise variiert, so dass die Liniensegmente mit verschiedenen Zuverlässigkeitsgraden detektiert werden. Je größer die minimale Amplitude, desto zuverlässiger ist das Liniensegment. Es können dadurch aber auch weniger Liniensegmente im Bild detektiert werden. Die Liniensegmente, bei deren Extraktion die minimale Amplitude hoch ist, werden als zuverlässiger betrachtet da sie höhere Kontraste besitzen. Ähnlich verhält es sich mit den langen Liniensegmenten. Diese sind besser und zuverlässiger für die Ausgleichung. Deswegen ergibt sich die Zuverlässigkeit eines Liniensegmentes aus der Länge  $l \in (0, d)$ , wobei  $d$  die Diagonale des Bildes ist (keine Linie im Bild kann länger als die Diagonale werden) und aus der minimalen Amplitude  $A \in [0, 255]$  (siehe eq.1).

$$\rho = 1/2 \cdot (l/d + a/255) \quad (1)$$

### 2.3 Projektion des Modells ins Bild und Sichtbarkeitsuntersuchung

Um die 3D Koordinaten des Modells in 2D Koordinaten des IR Bildes auszudrücken, wird das Model mithilfe der Kollinearitätsgleichungen ins Bild projiziert (2). Jeder Punkt des Modells wird unter Verwendung von Parametern der äußere  $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$  und inneren  $(c, x_0, y_0)$  Orientierung in Bildkoordinaten umgewandelt. Die Koeffizienten  $r_{11}, \dots, r_{33}$  sind die Elemente der Rotationsmatrix  $R(\omega, \varphi, \kappa)$  (Abb.1).

$$x = x_0 - c \frac{r_{11} \cdot (X - X_0) + r_{21} \cdot (Y - Y_0) + r_{31} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} + dx \quad (2)$$

$$y = y_0 - c \frac{r_{12} \cdot (X - X_0) + r_{22} \cdot (Y - Y_0) + r_{32} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} + dy$$

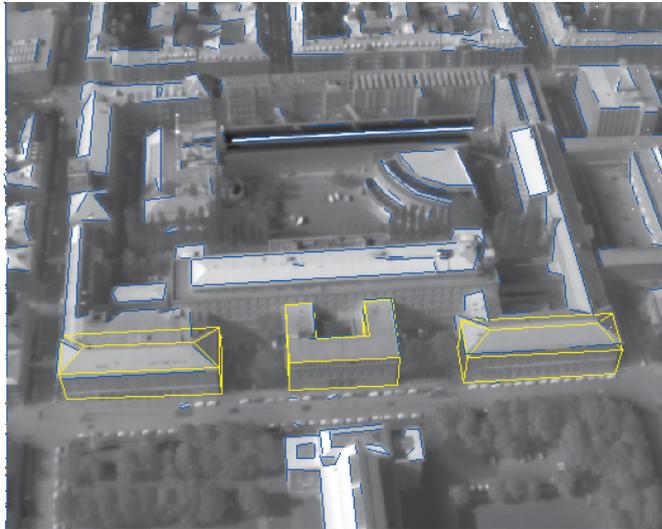


Abb. 1: Projiziertes 3D-Gebäudemodell (gelb) und extrahierte Linien (blau)

Bei der Projektion muss zusätzlich darauf geachtet werden, dass die verdeckten Linien nicht mitprojiziert werden. Es ist auch von Vorteil, die Flächen die fast senkrecht zu der Bildebene stehen, zu entfernen, da diese oft nur einige Pixel beinhalten und in den Kanten kaum zu unterscheiden sind. Dies kann leicht zu Fehlzugeordnungen führen und die Ausgleichung instabiler machen.

Für die Sichtbarkeitsuntersuchung gibt es zwei Typen von Methoden. Einerseits gibt es vektorenbasierte Methoden, die versuchen die neuen Koordinaten der Polygone nach der Verschneidung mit dem zudeckenden Objekt zu bestimmen, andererseits gibt es die bildbasierten Methoden („depth-buffer“, „ray tracing“), die für jedes Pixel bestimmen, zu welchem Objekt das Pixel gehört. Hier wird die bildbasierte Methode gewählt.

## 2.4 Zuordnung

### 2.4.1 Parametrisierung der Gerade im 2D Raum

Eine Gerade im 2D Raum kann durch einen Winkel und die Entfernung vom Ursprung des Koordinatensystems beschrieben werden (3). Im Fall der sog. hesseschen Normalform wird die Gleichung der Gerade wie in (3) geschrieben.

$$x \cdot \cos(\gamma) + y \cdot \sin(\gamma) - p = 0 \quad (3)$$

Diese Form hat den Vorteil, dass die Gleichung auch für vertikale Geraden bestimmt ist. Die Linie wird auch nicht „überparametrisiert“, das heißt, es werden für die Beschreibung der Gerade nur zwei, und nicht wie bei manchen Gleichungen drei Parameter benötigt.

### 2.4.2 Suche der Korrespondenzen

Die Zuordnung der im Bild extrahierten Liniensegmente zu den Modelllinien basiert auf den Parametern der Gerade und der Entfernung der Endpunkte. Die Korrespondenzen zwischen verschiedenen Geraden werden aufgrund der Orientierung die durch den Winkel  $\gamma$  in der eq. (1) beschrieben ist und aufgrund der Lage gesucht. Dafür werden zunächst für jede Gerade die Parameter  $\gamma$  und  $p$  bestimmt. Danach wird um jedes Liniensegment des Modells ein Puffer gebildet. Die im Bild extrahierten Liniensegmente bei denen sich beide Enden im Puffer befinden, werden als korrespondierende angenommen (Abb.2).

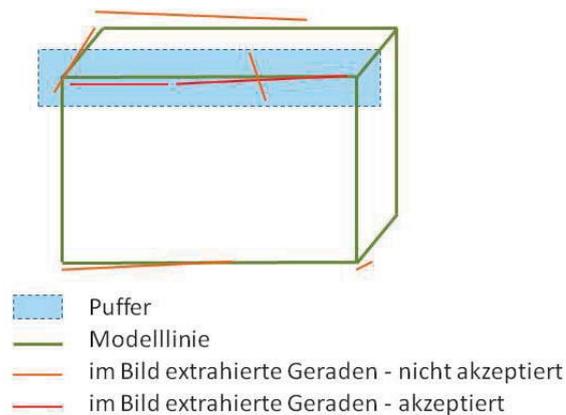


Abb. 2: Zuordnung der Geraden. Es wird geprüft, ob: Winkel  $\gamma_1 = \gamma_2 \pm \Delta\gamma$ , wobei  $\Delta\gamma$  ein wählbarer Schwellenwert ist. Um jede Modelllinie wird ein Puffer gebildet und für die Kandidaten (extrahierten Linien, mit ähnlichem Winkel  $\gamma$ ) wird untersucht, ob beide Ende im Puffer liegen.

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Linienzuordnung wurden in der Abb. 3 und in der Tab. 1 dargestellt. Die stärksten Zuordnungen konnten für die Dächer gefunden werden. Wie vorher erwähnt, liegt dies an den unterschiedlichen Materialien bei Dächern und Wänden. In unserem Fall stammte das verwendete 3D-Gebäudemodell aus der semiautomatischen 3D Rekonstruktion aus den Luftbildern. Deswegen sind die Dachkanten genauer als andere Kante erfasst und deswegen für die Zusammenführung vom Model und IR Bilder gut geeignet.

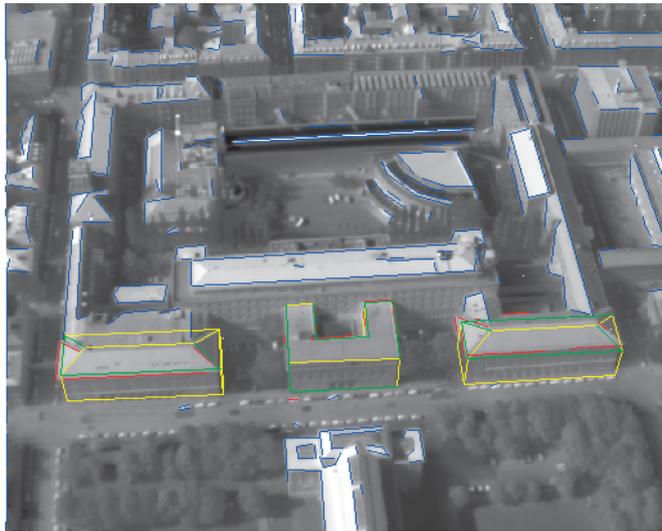


Abb. 3: Zuordnete Geraden. Gelb – das Modell, grün – Modelllinien mit Zuordnung, blau – extrahierte Liniensegmente, rot - extrahierte Liniensegmente mit Zuordnung

|              | Modelllinie ID | Bildlinie ID | gamma        | p       | gamma_Model  | p_Model |
|--------------|----------------|--------------|--------------|---------|--------------|---------|
|              |                |              | [ $\alpha$ ] | [pixel] | [ $\alpha$ ] | [pixel] |
| Zuordnung_1  | 2              | 263          | 7            | -5,92   | 3            | -5,13   |
| Zuordnung_2  | 4              | 246          | 4            | -2,60   | 4            | -2,55   |
| Zuordnung_3  | 5              | 264          | 94           | -6,73   | 92           | -6,90   |
| Zuordnung_4  | 6              | 252          | 8            | 1,82    | 6            | 2,21    |
| Zuordnung_5  | 7              | 244          | 92           | -3,35   | 92           | -3,48   |
| Zuordnung_6  | 8              | 245          | 8            | 4,65    | 7            | 4,81    |
| Zuordnung_7  | 9              | 263          | 7            | -5,92   | 1            | -5,03   |
| Zuordnung_8  | 10             | 263          | 7            | -5,92   | 3            | -5,21   |
| Zuordnung_9  | 12             | 263          | 7            | -5,92   | 3            | -5,13   |
| Zuordnung_10 | 14             | 277          | 90           | -12,75  | 93           | -11,79  |
| Zuordnung_11 | 21             | 254          | 92           | -5,18   | 93           | -5,84   |
| Zuordnung_12 | 22             | 258          | 72           | -0,92   | 74           | -1,72   |
| Zuordnung_13 | 22             | 259          | 77           | -1,96   | 74           | -1,72   |
| Zuordnung_14 | 25             | 257          | 4            | 10,84   | 10           | 10,80   |
| Zuordnung_15 | 25             | 262          | 7            | 10,96   | 10           | 10,80   |
| Zuordnung_16 | 26             | 258          | 72           | -0,92   | 74           | -1,72   |
| Zuordnung_17 | 26             | 259          | 77           | -1,96   | 74           | -1,72   |
| Zuordnung_18 | 27             | 260          | 52           | 11,09   | 45           | 13,67   |
| Zuordnung_19 | 33             | 267          | 94           | -9,23   | 93           | -9,54   |
| Zuordnung_20 | 33             | 268          | 95           | -9,84   | 93           | -9,54   |
| Zuordnung_21 | 33             | 270          | 94           | -9,48   | 93           | -9,54   |

|              |    |     |     |        |     |        |
|--------------|----|-----|-----|--------|-----|--------|
| Zuordnung_22 | 33 | 272 | 92  | -8,84  | 93  | -9,54  |
| Zuordnung_23 | 39 | 257 | 4   | 10,84  | 10  | 10,80  |
| Zuordnung_24 | 39 | 262 | 7   | 10,96  | 10  | 10,80  |
| Zuordnung_25 | 43 | 273 | 93  | -9,49  | 92  | -9,39  |
| Zuordnung_26 | 48 | 269 | 49  | -14,98 | 44  | -14,96 |
| Zuordnung_27 | 52 | 266 | 175 | 26,08  | 175 | 25,54  |
| Zuordnung_28 | 53 | 265 | 67  | -17,06 | 60  | -19,00 |
| Zuordnung_29 | 56 | 265 | 67  | -17,06 | 60  | -19,00 |
| Zuordnung_30 | 58 | 269 | 49  | -14,98 | 44  | -14,96 |
| Zuordnung_31 | 59 | 273 | 93  | -9,49  | 92  | -9,39  |

Tab. 1: Zusammenstellung von exemplarischen Zuordnungen zwischen Liniensegmenten mit Pufferbreite 20 Pixel und Winkeltoleranz 10°

### 3.1 Ausblick

In weiteren Schritten der Arbeit sollen Projektionsparameter mittels einer Ausgleichung neu berechnet werden.

#### 3.1.1 Parametrisierung der Gerade im 3D Raum

Damit im 3D Raum, genauso wie im 2D Raum, keine Sonderfälle zu berücksichtigen sind, ist es empfehlenswert die Geradengleichung zu parametrisieren. Eine Gerade im 3D Raum ist vollständig definiert und nicht überparametrisiert bei vier Parametern: zwei Winkeln und zwei Lageparametern ( $X_s, Y_s$ ) (ROBERTS, 1988; SCHWERMANN, 1995; SCHENK, 2004; MEIERHOLD et al., 2008a, MEIERHOLD et al., 2008b). Die Geradengleichung ist in eq. (4) dargestellt, wobei  $t \in \mathbf{R}$  ist.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_s \cos \alpha \cos \theta - Y_s \sin \alpha + z \cos \alpha \sin \theta \\ Y_s \sin \alpha \cos \theta + Y_s \cos \alpha + t \sin \alpha \sin \theta \\ -X_s \sin \theta + t * \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4)$$

#### 3.1.2 Kollinearitätsgleichungen für Linien

Wie bei (SCHENK, 2004; MEIERHOLD et al., 2008a, MEIERHOLD et al., 2008b) beschrieben, können die  $(X, Y, Z)$ -Koordinaten in die Kollinearitätsgleichungen eingesetzt werden. Weiterhin können diese Gleichungen in (5) und (6) umgewandelt werden.

$$y = \text{atan} \left( -\frac{1}{m} \right) \quad (5)$$

$$p = \frac{n}{\sqrt{m^2 + 1}} \quad (6)$$

## 4 Literaturverzeichnis

- CHAM T.J., CIPTADI A., TAN W.C., PHAM M.T. & CHIA L.T., 2010: Estimating Camera Pose from a Single Urban Ground-View Omnidirectional Image and a 2D Building Outline Map, In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), San Francisco, USA
- FOERSTNER, W., 2010: Optimal vanishing point detection and rotation estimation of single image from a legoland scenes, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Geoinformation Sciences, Vol 38(3B): 157-162
- FRUEH C., SAMMON R. & ZAKHOR A., 2004: Automated Texture Mapping of 3D City Models With Oblique Aerial Imagery, Proceedings of the 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT'04)
- MEIERHOLD, N., BIENERT, A. & SCHMICH, A., 2008a: Linebased referencing between images and laser scanner data for image-based point cloud interpretation in a CADenvironment. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **37** (B5), S. 437–444
- MEIERHOLD, N., BIENERT, A. & SCHMICH, A., 2008b: Linienbasierte Referenzierung zwischen Einzelbildern und Laserscannerdaten für eine bildgestützte Interpretation von Punktwolken in einer CAD-Umgebung, DGPF Tagungsband 17
- ROBERTS, K.S., 1988: A new representation for lines. IEEE Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, 635–640.
- SCHENK, T., 2004: From point-based to feature-based aerial triangulation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58** (2004), pp. 315-329.
- SCHWERMANN, R., 1995: Geradengestützte Bildorientierung in der Nahbereichsphotogrammetrie. Dissertation, Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Nr. 52.