

Bestimmung von 3D-Merkmalen von Bildregionen aus Stereobildern

Ribana Roscher

`rroscher@uni-bonn.de`

TR-IGG-P-2008-05

28. April 2008



Bestimmung von 3D-Merkmalen von Bildregionen aus Stereobildern

Ribana Roscher
rroscher@uni-bonn.de

Zusammenfassung

Dieser Report erläutert die Bestimmung von 3D-Merkmalen von Bildregionen durch Zuordnung von Bildpunkten in diesen Regionen zu den Objektpunkten in einer Punktwolke. Die Umsetzung erfolgt in einer grafischen Benutzeroberfläche in Matlab, deren Bedienung in diesem Report veranschaulicht werden soll.

1 Einleitung

Den Ausgangspunkt stellt eine Punktwolke C dar, die aus zwei oder mehr Stereoluftbildern I_i mit einem Semi-Global Matching-Verfahren nach [Heinrichs *et al.* (2007)] erstellt wurde. In diesem Report wurde mit einem Bildpaar (Abbildung 1(a) und 1(b)) und einem Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c)) gearbeitet.



(a) Bildpaar: Bild 1



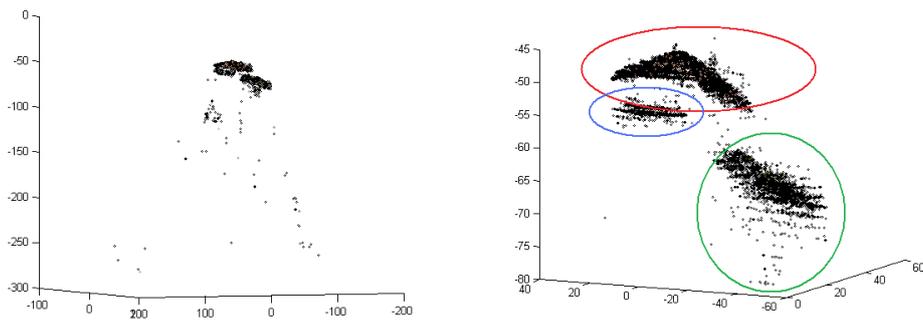
(b) Bildpaar: Bild 2

Abbildung 1: Original-Bildpaar zur folgenden Veranschaulichung der Punktzuordnungsproblematik



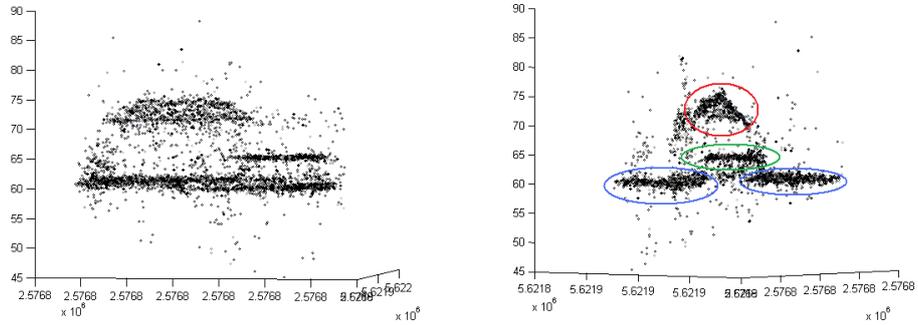
Abbildung 2: Original-Bildtripel zur folgenden Veranschaulichung der Punktzuordnungsproblematik

Aus diesen Bildern wurden die Punktwolken in Abbildung 3(a) und 3(b) sowie 4(a) und 4(b) erzeugt.



(a) Komplette Punktwolke C zum Bildpaar (Abbildung 1(a) und 1(b)) (b) Ausschnitt aus der Punktwolke C zum Bildpaar (Abbildung 1(a) und 1(b))

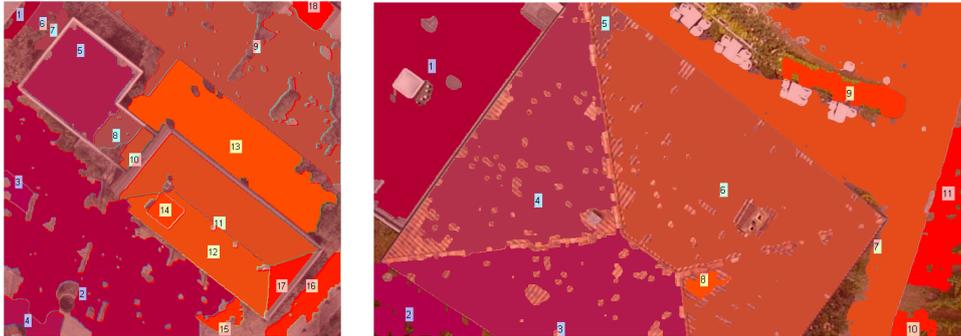
Abbildung 3: Mit dem Semi-Global Matching-Verfahren nach [Heinrichs *et al.* (2007)] erstellte Punktwolke C zum Bildpaar (Abbildung 1(a) und 1(b)); rote Ellipse: Zeltdach, blaue Ellipse: Flachdach, grüne Ellipsen: Boden



(a) Seitenansicht der Punktwolke C zum Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c)) (b) Vorderansicht der Punktwolke C zum Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c))

Abbildung 4: Mit dem Semi-Global Matching-Verfahren nach [Heinrichs *et al.* (2007)] erstellte Punktwolke C zum Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c)); Im rechtem Bild: rote Ellipse: Satteldach, blaue Ellipse: Flachdach, grüne Ellipse: Boden

Aus den Bildern wurden Regionen S_j^i extrahiert, deren 3D-Merkmale minimale und maximale Höhe, h_j und H_j , Anzahl der Objektpunkte n_j , Standardabweichung s_j und Neigung p_j bestimmt wurden. Für das Bildpaar (Abbildung 1(a) und 1(b)) und das Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c)) ergeben sich die Regionen, die in Abbildung 5(a) und 5(b) dargestellt sind.



(a) Regionen des Referenzbildes des Bildtripels (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c))
1(a) und 1(b))

Abbildung 5: Eingefärbte und nummerierte Regionen S_j^i des Referenzbildes 1(a) des Bildpaares und des Referenzbildes 2(a) des Bildtripels

Dieser Report erläutert in Kapitel 2 die Schätzung der 3D-Merkmale im Idealfall und zeigt in Kapitel 3 die Zuordnungsproblematik von Bild- und Objektpunkten auf. Ihre Ursache liegt in falsch gematchten Bildpunkten, so dass in einigen Fällen Objektpunkten aus der Punktwolke falsche Höhen zugewiesen werden. Diese Fälle werden aufgelistet und an Beispielen erläutert. Abschließend wird in Kapitel 4 die Umsetzung der Schätzung durch das Programm `regionfit.m` erläutert.

2 Schätzung der 3D-Merkmale für den Idealfall

Um die 3D-Merkmale für die Regionen zu erhalten, wurden Verfahren verwendet, die im nachfolgenden erläutert werden sollen. Die Vorgehensweise gliedert sich in die Schritte Vorverarbeiten, Segmentieren, Transformieren und Zuordnen sowie Schätzen.

2.1 Vorverarbeiten

Zum Vorverarbeiten des Bildes wird ein Gaußfilter mit der Standardabweichung σ und der Größe $[2 \cdot 3\sigma \quad 2 \cdot 3\sigma]$. σ ist ein Eingabeparameter in der graphischen Benutzeroberfläche des Programms `regionfit.m`.

2.2 Segmentieren

Zur Segmentierung wurde der Wasserscheidenalgorithmus nach [Drauschke *et al.* (2006)] verwendet. An Hand von Abbildung 6 soll das Verfahren kurz erläutert werden.

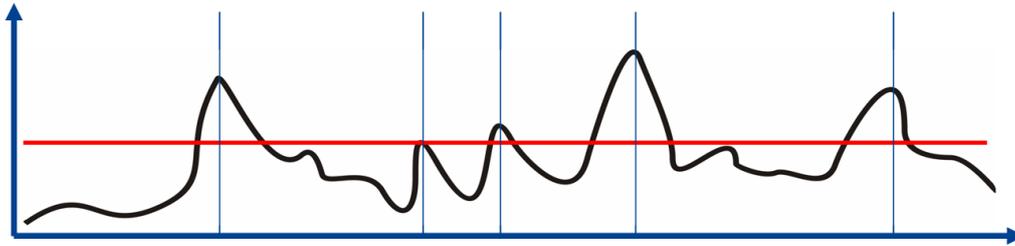


Abbildung 6: Querschnitt durch ein Gradientenbild mit Median (rote Linie) zur Verhinderung der Übersegmentierung beim Wasserscheidenalgorithmus (Zeichnung von M.Drauschke)

Für die Segmentierung wird der quadratische Gradient

$$\|\nabla g_c(x, y)\|^2 \quad (1)$$

für jeden Kanal berechnet. In Abbildung 6 ist diese Gradientenengebirgsfunktion h als schwarze Linie dargestellt. Um eine Übersegmentierung des Bildes zu verhindern, werden die quadratischen Gradienten mit einer robust geschätzten Varianz des Rauschens n_c gewichtet:

$$h(x, y) = \sqrt{\sum_c^3 \frac{\|\nabla g_c(x, y)\|^2}{var(n_c)}}. \quad (2)$$

Die Schätzung dieser Varianz erfolgt nach [Brügelmann & Förstner (1992)] mit Hilfe des Medians:

$$var(n_c) = \max\{1, med(\|\nabla g_c(x, y)\|^2)\} \quad (3)$$

Zusätzlich erfolgt eine Transformation der Gradientenfunktion, sodass sich h' mit

$$h'(x, y) = \max\{0, h(x, y) - \gamma \cdot var(n_c)\} \quad (4)$$

ergibt. Der Faktor γ ist ein Eingabeparameter in der graphischen Benutzeroberfläche des Programms `regionfit.m`. Je größer er gewählt wird, desto mehr Gradienten liegen unterhalb des Medianschwellwertes und werden folglich unterdrückt.

2.3 Transformieren und Zuordnen

Die Zuordnung der Objektpunkte \mathbf{X}_j in der Punktwolke zu den Bildpunkten \mathbf{x}_j in den segmentierten Regionen im Bild erfolgt über die Transformation

$$\mathbf{x} = \mathbf{P}_i \mathbf{X}_i. \quad (5)$$

Die Objektpunkte \mathbf{X}_i werden mit der Projektionsmatrix \mathbf{P}_i in das Bild I_i projiziert und auf ganze Zahlen gerundet. Dadurch erfolgt eine Zuordnung der Objektpunkte zu Bildpunkten in der Region S_j , die in einer Pixelliste p_j abgespeichert werden. Über den Index kann auf die zusammengehörenden Punkte zugegriffen werden.

2.4 Schätzen

Um nur die dominanten Ebenen E_k zu schätzen, wird ein Schwellwert t eingeführt, der die Mindestanzahl an Punkten, die in einer Region vorkommen muss, festlegt. Als wichtigstes Mittel zur Ebenenschätzung wird der RAN-SAC Algorithmus nach [Fischler & Bolles (1981)] verwendet. Zunächst werden zufällig drei Punkte \mathbf{A} , \mathbf{B} und \mathbf{C} aus der Region S_j durch Zugriff auf die Pixelliste p_j ausgewählt und mit diesen eine Ebene geschätzt:

$$\mathbf{n} = \|(\mathbf{B} - \mathbf{A}) \times (\mathbf{C} - \mathbf{A})\|, \quad (6)$$

$$d = \langle \mathbf{n}, \mathbf{A} \rangle. \quad (7)$$

Mit Hilfe des Normalenvektors \mathbf{n} und dem Abstand d können die senkrechten Punktabstände c_i der verbleibenden Punkte in der Region ermittelt werden:

$$c_i = \text{abs}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{X}_i + d). \quad (8)$$

Um festzulegen, welche Punkte die Ebene unterstützen und welche nicht, muss ein Schwellwert a festgelegt werden, der die maximale Distanz zur Ebene angibt und entsprechend der Punktwolkeneigenschaften gewählt werden muss. Bei Fassaden muss ein kleiner Wert gewählt werden, damit zum Beispiel eine Wandebene von einer Fensterebene, die nur um wenige cm zur Wand versetzt ist, unterschieden werden kann. Für den Fall der Dächererkennung erwies sich ein Wert von $20cm$ als geeignet. a ist ein Eingabeparameter in der graphischen Benutzeroberfläche des Programms `regionfit.m` und kann beliebig variiert werden. Die Anzahl der Punkte, die die Ebene unterstützen, wird gespeichert. Der Vorgang der Ebenenschätzung mit 3 Punkten

wird so oft wiederholt bis zu einer Wahrscheinlichkeit P angenommen werden kann, dass die dominante Ebene gefunden wird. Die Ebene soll dabei mindestens durch einen Prozentsatz α unterstützt werden. Die Anzahl der Suchvorgänge m berechnet sich nach

$$m = \frac{\log(1 - P)}{\log(1 - \alpha^3)}. \quad (9)$$

Als α wurde 50% und als Wahrscheinlichkeit $P = 0.999$ gewählt. Alle Ebenen, die in einer Region gefunden wurden, werden gespeichert und nach Berechnung aller diejenige gewählt, die durch die meisten Punkte unterstützt wird.

Die Ebenenschätzung mit den unterstützenden Punkten erfolgt über die Minimierung der senkrechten Abstände zu der Ebene und wird im Folgenden genauer erläutert. Zur Vermeidung von numerisch instabilen Berechnungen, wird der Schwerpunkt \mathbf{X}_S von den Objektpunkten berechnet und diese auf den Schwerpunkt bezogen:

$$\mathbf{X}_S = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathbf{X}_j, \quad (10)$$

$$\bar{\mathbf{X}}_j = \mathbf{X}_j - \mathbf{X}_S. \quad (11)$$

N ist der Anzahl der Objektpunkte. Mittels der Eigenwertzerlegung können aus der Momentenmatrix $\mathbf{M} = \mathbf{X}^T \mathbf{X}$ mit

$$\mathbf{M}\mathbf{r} = \lambda\mathbf{r} \quad (12)$$

die Eigenwerte λ und Eigenvektoren \mathbf{r} bestimmt werden. Der Eigenvektor \mathbf{r}_3 zum kleinsten Eigenwert λ_3 ist der Normalenvektor \mathbf{n} der Ebene. Die Distanz d zum Ursprung kann über \mathbf{n} und \mathbf{X}_S bestimmt werden:

$$d = -\mathbf{n} \cdot \mathbf{X}_S. \quad (13)$$

Die Standardabweichung s erhält man mit \mathbf{D} als Diagonalmatrix des kleinsten Eigenwertes λ_3 durch

$$s = \sqrt{\frac{\mathbf{D}}{N - 3}}. \quad (14)$$

3 Probleme mit realen Daten

Wie in Kapitel 2 erläutert, müssen für die Bestimmung von 3D-Merkmalen die Bildpunkte \mathbf{x}_j den Objektpunkten \mathbf{X}_j zugeordnet werden. Durch falsch

gematchten Bildpunkte treten Fehler bei der Zuordnung von Bild- und Objektpunkten aus der Punktwolke auf, deren Anzahl und Größenordnung von der Anzahl, Qualität und vom Inhalt der Bilder abhängen. Diese Fehler treten vermehrt an charakteristischen Stellen auf, die im Folgenden am Beispiel des Bildpaares (Abbildung 1(a) und 1(b)) und dem Bildtripel (Abbildung 2(a), 2(b) und 2(c)) dargestellt werden sollen.

3.1 Zuordnungsfehler

Die häufigsten Zuordnungsfehler treten am Rand der Bilder auf.

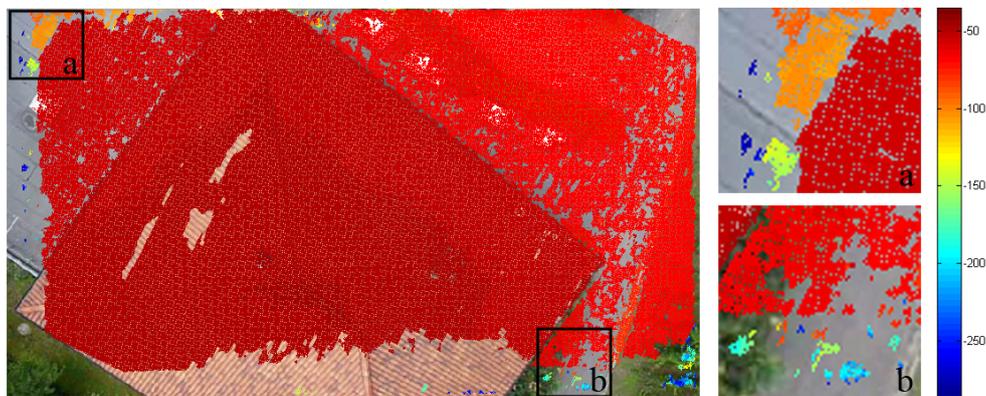


Abbildung 7: Darstellung des Zuordnungsproblems am Rand durch Darstellung der Höhe als 3D-Merkmal der Bildkoordinaten am Beispiel von Bild 1(a)

In Abbildung 7 sind die Bildkoordinaten mit ihrer Höheninformation dargestellt. Hohe Punkte werden als rot und tiefe Punkte als blau dargestellt. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass Flachdachregionen durch keine bis geringe Höhenunterschiede gekennzeichnet sind. Betrachtet man das Flachdach in Bildausschnitt a, so zeigen sich die falschen Punkthöhen durch die starken Höhenunterschiede in diesem Gebiet. Bildausschnitt b zeigt große Höhenunterschiede in einer flachen Bodenregion. Die Punkte aus beiden Beispielen stammen vom Rand der Punktwolke.

Des Weiteren stellen sprunghafte Höhenänderungen zwischen Regionen ein Problem dar, wie sie zum Beispiel bei dem Übergang Dach-Boden auftreten. Dort werden entweder Dachpunkte zu der Region des Bodens oder Bodenpunkte zur Dachregion zugeordnet.

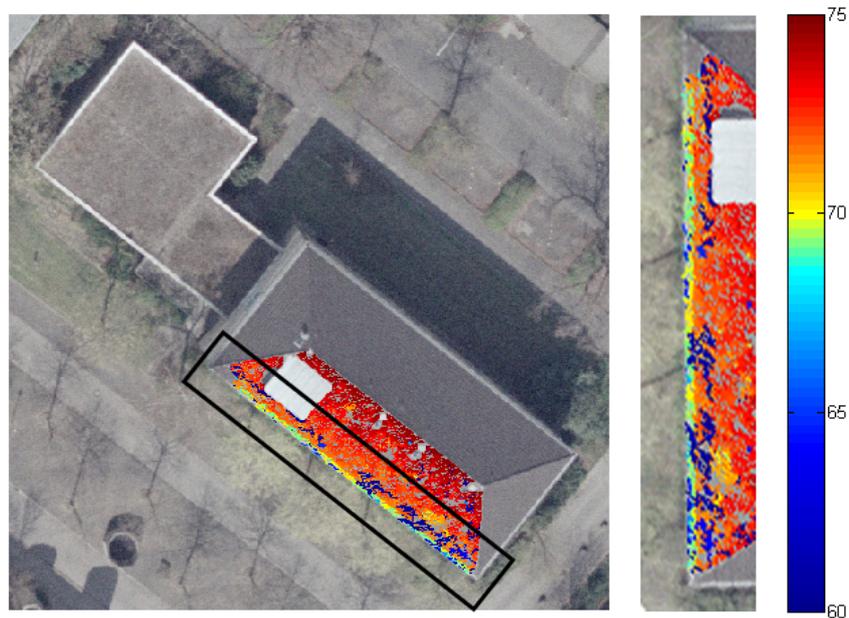


Abbildung 8: Darstellung des Zuordnungsproblems bei sprunghaften Höhenänderungen an Hand des Überganges Dach-Boden am Beispiel von Bild 2(a)

In Abbildung 8 zeigen sich die falschen Punkthöhen am Dachübergang. Rot sind hohe Dachpunkte und blau sind tiefe Bodenpunkte dargestellt. Parallel zur Dachkante kann man auf dem Dach einen Streifen tiefer Punkte sehen. Außerdem sieht man auf der Dachkante Punkte, die $1 - 2m$ tiefer liegen als jene, die direkt daran zum Dach hin anschließen. Hier werden die Probleme des Matching deutlich, die durch verdeckte Bereiche hervorgerufen werden. In Bild 2(a) ist im Gegensatz zu den Bildern 2(b) und 2(c) die Fassade nicht zu sehen, wodurch in Bild 2(a) den Dachkantenpunkten entweder Höhen der Fassade oder des Bodens falsch zugeordnet werden.

Problematisch sind außerdem Schatten und Übergänge zu Schatten, wodurch falsche Punkthöhen entstehen.

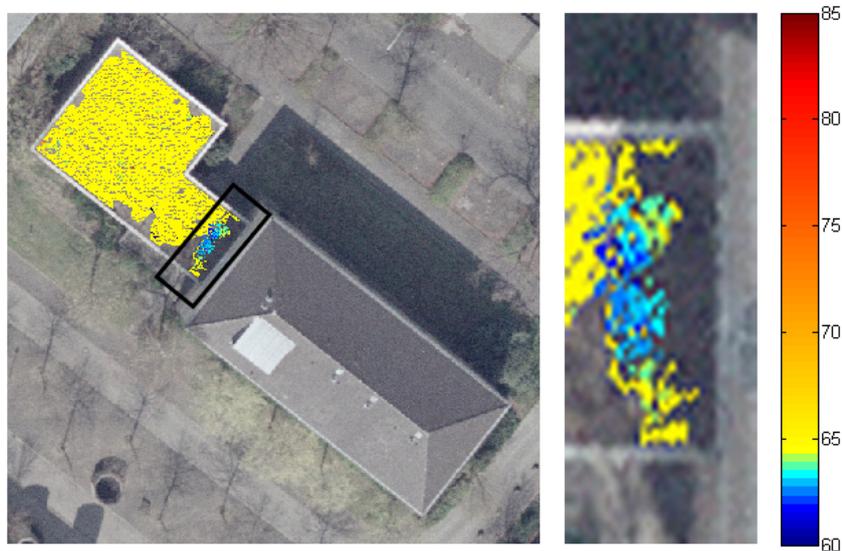


Abbildung 9: Darstellung des Zuordnungsproblems bei Schatten an Hand des Überganges zweier Regionen auf einem Flachdach am Beispiel von Bild 2(a)

In Abbildung 9 sieht man die Bildkoordinaten mit den Höheninformationen aus 2 Regionen eines Flachdaches. Auf Grund der Intensitätsunterschiede ergaben sich durch die Segmentierung eine Schattenregion und eine Nicht-Schattenregion. Der Höhenunterschied zwischen beiden Regionen in diesem Beispiel ist bis zu $5m$. Problematisch für das Matching-Verfahren sind dabei Verdeckungen und die zeitlichen Variationen der Schatten, sodass sich dadurch falsche Zuordnungen und damit falsche Punkthöhen ergeben.

Zwei weitere Probleme treten bei der Segmentierung der Regionen auf. Sind die Intensitätsunterschiede zwischen den Regionen zu gering, verschmelzen diese zu einer. Dies tritt vor allem bei Flächen auf, die eine ähnliche Textur und Farbe haben. Des Weiteren werden zum Beispiel bei Schattenübergängen Regionen partioniert, die eigentlich zusammenhängend sind.

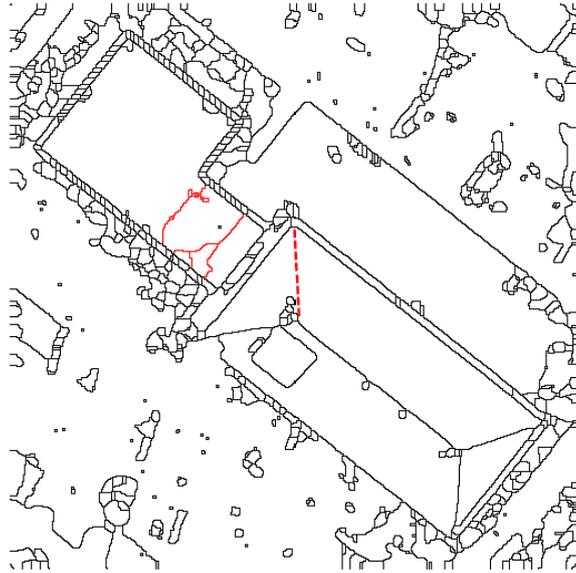


Abbildung 10: Probleme bei der Segmentierung am Beispiel von Bild 2(a)

In Abbildung 10 ist die fehlende Segmentierungslinie mit einer roten gestrichelten Linie und die überschüssigen Linien durchgängig rot dargestellt.

Auf die oben genannten Probleme wurde mit einer Nachbearbeitung der transformierten und zugeordneten Punkte reagiert, die im Folgenden erklärt werden soll. Dieser Schritt erfolgt unmittelbar vor der Schätzung der dominanten Ebenen E_k .

3.2 Nachbearbeiten

Wie oben erläutert, treten bei dem Matching-Verfahren Zuordnungsfehler am Rand auf. Aus diesem Grund wurden morphologische Operatoren nach [Haralick *et al.* (1987)] verwendet. Es wurde ein Closing \bullet zum Schließen von Lücken und anschließend eine Erosion \ominus zum Entfernen des äußeren Randes der Punktwolke angewandt. Das Strukturelement \mathbf{e} für das Closing ist ein Kreis mit einem Durchmesser von $6pel$, bei der Erosion wurde ein Kreis mit einem Durchmesser von $15pel$ gewählt:

$$(I \bullet \mathbf{e}_1) \ominus \mathbf{e}_2 = ((I \oplus \mathbf{e}_1) \ominus \mathbf{e}_1) \ominus \mathbf{e}_2. \quad (15)$$

Das Strukturelement einer morphologischen Operation entspricht dabei dem Kern bei einer Faltung. Das Closing ist eine Kombination von Dilatation

\oplus gefolgt von einer Erosion. Mit der Dilatation bewirkt man das Schließen von Löchern, die kleiner als das Strukturelement sind und mit der Erosion stellt man die ursprüngliche Größe der Punktwolke wieder her. Die morphologischen Operatoren haben den Vorteil, dass keine festgesetzte, große Zone gewählt zum Entfernen des Randes der Punktwolke werden muss und somit die unregelmäßige Struktur des Randes berücksichtigt werden kann.

Nach der Bearbeitung der Daten kann die Schätzung der Ebene wie in Kapitel 2 erfolgen.

4 Programmbeschreibung

4.1 Anforderungen an die Daten

Das Programm `regionfit.m` bestimmt die 3D-Merkmale aus Regionen. Die Steuerung erfolgt über eine graphischen Benutzeroberfläche (GUI) in Matlab.

Für die Durchführung des Programms `regionfit.m` sind Anforderungen an die Daten zu stellen, die im Folgenden erläutert werden. Die Regionen des Bildes sollten gut erkennbar und voneinander trennbar sein. Ist dies nicht der Fall, sollte eine Handsegmentierung durchgeführt werden. Des Weiteren können die Bilder zusätzlich mit Bildbearbeitungsalgorithmen wie Histogrammspreizung o.Ä. bearbeitet werden.

Die Projektionsmatrizen müssen die Dimension 3×4 oder $1 \times 3 \times 4$ und die Objektpunkte die Dimension $N \times 3$ haben. Die Punktwolke sollte mehrere tausend Punkte enthalten, da diese im Laufe der weiteren Verarbeitung ausgedünnt werden und somit viele Regionen verloren gehen könnten.

4.2 Der erste Start

Für den ersten Start des Programm muss das Archiv `regionfit.rar` an einen beliebigen Ort auf der Festplatte entpackt werden. Zur Bearbeitung der gewünschten Daten müssen die Bilder in den Ordner `/images`, die Projektionsmatrizen in `/projectionsmatrices` und die Objektpunkte in den Ordner

.../objectpoints abgelegt werden. Der Start der GUI erfolgt durch Ausführen des Hauptprogramms `regionfit.m`. Nach Wechsel in das betreffende Verzeichnis in Matlab kann das Programm ausgeführt werden.

4.3 Programmablauf

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Programmes erläutert. Um den Verlauf der ausgeführten Schritte während der Ausführung des Programms zu verfolgen, wird dieser in einer Textbox angezeigt.

1. Wahl der Daten

Als erstes muss der Pfad mit dem Button *Browse* gewählt werden. Mit diesem Schritt werden die Bilder, Projektionsmatrizen und Objektpunkte in die dafür vorgesehenen Popup-Menüs geladen. Danach müssen das Bild, die Projektionsmatrix und die Objektpunkte ausgewählt werden.

2. Wahl der Parameter

Dies ist ein optionaler Schritt, da bereits Werte in die Textfelder eingetragen wurde, die auf den Erfahrungen des Authors beruhen. Die Parameter dienen zum einem zum Vorverarbeiten des Bildes um eine gute Segmentierung zu gewährleisten und zur Trennung der dominanten Ebenen von den nichtdominanten. Mit dem Feld *minimum size of regions* kann der Schwellwert t für die dominanten Ebenen gesetzt werden. Mit γ des Wasserscheidenalgorithmus wird der Faktor zur Verhinderung der Übersegmentierung und mit σ des Gaussfilters die Stärke der Glättung und die Größe des Filters gewählt. Mit dem Feld *maximum distance to plane* kann der Schwellwert a für die maximale Distanz zur Ebene gewählt werden.

3. Fit regions

Mit dem Button *Fit regions* wird zunächst das Bild geglättet. Anschließend werden Regionen segmentiert und die Pixellisten von allen Regionen erstellt. Nachdem die Objektpunkte ins Bild projiziert und diejenigen Pixellisten ausgewählt wurden, die über dem Schwellwert t liegen, werden die Bildkoordinaten in den verbliebenen Pixellisten den Objektkoordinaten zugeordnet. Danach kann jede Ebene durch die Objektkoordinaten einer Region geschätzt werden. Auf diese Weise erhält eine segmentierte Region im Bild 3D-Merkmale.

4. Show-Funktionen

Mit den Show-Funktionen kann man sich verschiedene 2D- oder 3D-Plots der 3D-Merkmale anzeigen lassen. *Show Image* zeigt das

ungeglättete Originalbild. *Show Regions* zeigt ein Bild mit den eingezeichneten Regionen und Regionsnummern. *Show heights* zeigt ein Höhenbild mit farblich abgestuften Höhen und einer Farbskala am Rand. *Show 3D* zeigt die Objektkoordinaten in einem 3D-Koordinatensystem mit der RGB-Farbe des dazugehörigen Bildpixels. *Show planes* zeigt die konvexen Hüllen um die Objektkoordinaten der Regionen.

5. Plot results

Bei Drücken des Buttons *Plot results* wird eine Log-Datei erstellt, die in dem Ordner logs mit Datum und Uhrzeit abgelegt wird. Zusätzlich wird ein Screenshot mit den Regionen und der Regionsnummer erstellt. Die 3D Merkmale werden in einer .txt Datei ab gespeichert in Form einer Tabelle, die Anzahl der Bildpunkte bzw. Objektpunkte in der Region mit deren Standardabweichung, die zur Ebene gehörigen Punkte mit deren Standardabweichung, der Winkel zur x-y-Ebene des Weltkoordinatensystems, die minimale und maximale Höhe der Punkte, die Differenz zwischen minimaler und maximaler Höhe und die Schnittwinkel der Ebenen und ausgegeben.

4.4 Funktionen des Programms

Im Folgenden sollen die verwendeten Funktionen aufgelistet und erläutert werden.

`scan.m`

Bei Übergabe eines Pfades werden alle darin befindlichen Dateien in einem Cell-Array ausgegeben.

`loaddata.m`

Laden und Sortieren der durch `scan.m` gescannten Files in ein Popup.

Eingabeparameter sind der Pfad, die gesuchten Filetypen, die Ordner, die nicht durchsucht werden sollen, das Popup-Menü, in das die Daten geladen werden sollen und die handles des Popup-Menüs.

`regiondetect.m`

Segmentierung des Bildes mit dem Wasserscheidenalgorithmus durch `watershed_md.m`, Bestimmen der Regionen die über den Schwellwert t der Mindestgröße von Regionen liegen und Speichern der Pixellisten der Regionen in einem Ordner .../Pixellists[Bildzahl im Popup-Menü Photographs].

Eingabeparameter sind das Bild, t , γ und die Bildzahl im Popup-Menü Photographs. Ausgabe ist das segmentierte Bild, die Pixellisten und ein log-File mit Region und Anzahl der darin befindlichen Pixel.

`searchPlanes.m`

Suchen der dominanten Ebene in einer Region mit RANSAC.

Eingabeparameter sind Punkte \mathbf{X} , `dist2plane` (Schwellwert a als Abstand zur Ebene bei der Punkte als dazugehörig definiert werden) und optional s , die Anzahl der Suchwiederholungen. Ausgabe ist ein Struct mit Normalenvektor, Punkten, Distanz u. Anzahl der gefundenen dominanten Ebenen.

`estimatePlane3pts.m`

Einfache Ebenenschätzung mit 3 Punkten, die sehr schnell arbeitet.

Eingabe sind die Objektpunkte X und Ausgabe sind der Normalenvektor, die Distanz und die Standardabweichung der Ebene.

`estimatePlane.m`

Ebenenschätzung mit mehreren Punkten.

Eingabe sind die Objektpunkte X und Ausgabe sind der Normalenvektor, die Distanz und die Standardabweichung der Ebene.

`watershed_md.m`

Ausführen eines Wasserscheidenalgorithmus mit Verhinderung der Übersegmentierung.

Eingabe ist das zu segmentierende Bild und der Faktor γ , Ausgabe ist das segmentierte Bild.

`hullfit.m` Bestimmen der Polygonhülle einer Punktwolke zum Zeichnen der Ebenen mit *Show planes*.

Eingabeparameter sind die x- und y-Koordinaten der Punkte X in einer Region S_j und die maximale Länge einer Polygonseite. Ausgabe sind die Koordinaten der Eckpunkte des Polygons.

`myginput.m` Erweiterung zum Matlabbefehl `ginput.m` mit veränderten Mauszeiger zur erleichterten Bedienung bei Wahl von *Show regions*.

Literatur

- BRÜGELMANN, REGINE, & FÖRSTNER, WOLFGANG. 1992. Noise Estimation for Color Edge Extraction. *Pages 90–107 of: FÖRSTNER, W., & RUWIEDEL, S. (eds), Robust Computer Vision.* Wichmann, Karlsruhe.
- DRAUSCHKE, MARTIN, SCHUSTER, HANNS-FLORIAN, & FÖRSTNER, WOLFGANG. 2006. Detectability of Buildings in Aerial Images over Scale Space. *Pages 7–12 of: FÖRSTNER, WOLFGANG, & STEFFEN, RICHARD (eds), Symposium of ISPRS Commission III: Photogrammetric Computer Vision*, vol. XXXVI. Bonn: ISPRS Commission III, for ISPRS.
- FISCHLER, MARTIN A., & BOLLES, ROBERT C. 1981. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *Commun. ACM*, **24**(6), 381–395.
- HARALICK, ROBERT M., STERNBERG, STANLEY R., & ZHUANG, XINHUA. 1987. Image Analysis Using Mathematical Morphology. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **9**(4), 532–550.
- HEINRICHS, M., RODEHORST, V., & HELLWICH, O. 2007. Efficient semi-global matching for trinocular stereo. *Pages 185–190 of: ET AL., U. STILLA (ed), PIA 2007.*