

3D-Vermessung mit Videotheodoliten und automatisierte Zielpunkterfassung mit Hilfe von Interest Operatoren

Reiterer Alexander, Kahmen Heribert, Egly Uwe, Eiter Thomas

Moderne geodätische Aufnahmesysteme sind gekennzeichnet durch die Möglichkeit, in kurzer Zeit sehr viele Einzelpunkte zu bestimmen. Damit ergibt sich das Problem der sinnvollen und gezielten Reduktion der Punktanzahl, um die wesentlichen Inhalte der Aufnahme zu isolieren.

1 Einleitung

In der modernen Ingenieurvermessung werden häufig Aufträge erteilt, Konstruktionen berührungslos on-line zu vermessen und dabei auf das Anbringen von Zielmarken zu verzichten. Für diese und andere Aufgabenstellungen können optische Messsysteme aus dem Bereich der geodätischen Messtechnik eingesetzt werden [9, 12]. Eine interessante, vielversprechende und flexible Technik zur automatisierten On-Line Erfassung ist die Vermessung mit Hilfe von motorisierten Videotheodoliten. ROIC [12] entwickelte ein Verfahren zur Erfassung nicht signalisierter 3D-Strukturen für visuelle Beobachtungen. MISCHKE [8] gelang es mit Hilfe von Bildverarbeitungsoperatoren nicht signalisierte Punkte einfach strukturierter Objekte zu erfassen. Die Identifizierung von Zielpunkten erfolgt dabei in digitalen Bildern, die von einem Videotheodoliten (dem Master-Videotheodoliten) geliefert werden. Die Identifizierung der interessanten Punkte (*Interest Points (IP)*) läuft dabei automatisiert ab – dies wird mittels sogenannter *Interest-Operatoren (IOP)* realisiert. Nach der Identifizierung markanter Punkte durch einen *Interest-Operator* erfolgt die Erfassung derselben Punkte durch einen zweiten Videotheodoliten (dem Slave-Videotheodoliten). Die Berechnung der räumlichen Koordinaten erfolgt nach dem Prinzip des räumlichen Vorwärtsschnittes.

Ein bisher ungelöstes Problem bei dieser Vorgangsweise ist die Identifizierung der für eine Objektrekonstruktion relevanten Punkte. Bei realen Szenen wird von den *Interest-Operatoren* eine Unzahl von Punkten geliefert, wie dies etwa in Abbildung 1 zu beobachten ist. Hier werden vor allem durch Bildstörungen viele Punkte (z.B. auf Flächen wie Fenstern, Bossen etc.) als *Interest Points* geliefert. Eine Minimierung der Anzahl der gefundenen *Interest Points* kann durch umfangreiche Bildaufbereitung erzielt werden. Dabei werden die wesentli-



Abb. 1: *Förstner-Interest-Operator* [3, 8] angewandt auf ein Fassadenbild

chen Merkmale des Objektes extrahiert. Vereinfacht könnte man sagen, dass die komplexe reale Szene in ein stark vereinfachtes und informationsreduziertes Bild übergeführt wird, das einer Strichzeichnung ähnelt. Nachfolgend wird eine Methode zur Bildaufbereitung vorgestellt, welche als Weiterentwicklung der Arbeiten von ROIC und MISCHKE angesehen werden kann. Das Ausgangsbild wird schrittweise in ein für die Anwendung eines *Interest-Operators* geeigneteres Bild übergeführt. Diese Methode wurde speziell für die Verarbeitung von Bildern linienhaft strukturierter Objekte (z.B. Fassaden) ausgelegt und hat sich für diese im praktischen Einsatz an einer Reihe von Testdaten bewährt, wobei eine signifikante Verbesserung der Resultate erzielt worden ist. Bemerkenswert an dieser Bildaufbereitung ist die zeitliche Effizienz und die, durch den Gebrauch von „Standardmethoden der Bildverarbeitung“, leichte Realisierbarkeit und Implementierbarkeit.

2 Punktfindung in digitalen Bildern

Man kann zwischen den Begriffen „*Interest Points*“ und „Objektpunkte“ unterscheiden:

- *Interest Points* sind jene Punkte, welche vom *Interest Operator* geliefert werden. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sich die Textur in unmittelbarer Umgebung des Punktes stark ändert [10], man spricht auch davon, dass die Textur eine große Dichte aufweist [3].
- Objektpunkte stellen eine Teilmenge der *Interest Points* dar. Sie umfassen jedoch nur jene Punkte, durch welche sich das Objekt ausreichend erfassen lässt.

Es ergeben sich demnach eine Reihe von Anforderungen, welche von *Interest Points* erfüllt werden sollten [3]:

- **Deutlichkeit:** Die Punkte sollten sich deutlich von ihrer Umgebung unterscheiden.
- **Invarianz:** Die Punktauswahl sollte invariant gegenüber geometrischen und radiometrischen Verzerrungen des Bildes sein.
- **Stabilität:** Die Punktauswahl sollte unempfindlich gegen Bildstörungen sein.
- **Seltenheit:** Die Unterscheidbarkeit der gefundenen Punkte sollte gewährleistet sein. Dies spielt vor allem bei der Zuordnung bzw. beim Wiederauffinden der Punkte eine zentrale Rolle.
- **Interpretierbarkeit:** Die Punktauswahl sollte vor allem Punkte liefern, die eine „Bedeutung“ haben (bei realen Szenen vor allem Teile von Ecken und Kanten).

Es soll an dieser Stelle auf die umfangreiche Beschreibung der Funktionsweise von *Interest-Operatoren* verzichtet werden. Eine umfassende Abhandlung findet sich in der Literatur [3, 7]. Um den nachfolgenden Ausführungen folgen zu können, sei jedoch erwähnt, dass die Textur lokale Änderungen der Grauwerte beschreibt, die sich durch Grauwertgradienten darstellen lassen. Demnach wird jede markante Grauwertänderung im Bild als *Interest Point* interpretiert.

3 Bildaufbereitung

3.1 Grundlagen

Das von Roic [12] vorgestellte Bildvorverarbeitungsverfahren hat das zentrale Ziel, durch Kantenextraktion Zielmarken auf dem auszumessenden Objekt zu erzeugen. Dabei wurde für natürliche Szenen eine Kantenhervorhebung, mit anschließender Binärisierung durch einen Schwellwertoperator durchgeführt. Roic konnte nachweisen, dass die Ergebnisse der angewandten Kantenhervorhebungsoperatoren (*Sobelfilterung*, *Robertsfilterung*, *Kirschfilterung*) bei natürlichen Szenen keine wesentlichen Unterschiede aufweisen. Des Weiteren zeigte er, dass die Anzielgenauigkeit mit Hilfe der entwickelten Bildvorverarbeitung erheblich gesteigert werden konnte. Die Genauigkeit des Verfahrens wird bei seinen Untersuchungen hauptsächlich durch die Oberflächenrauigkeit des Objektes beschränkt [6, 12].

Um nun automatisierte Punktfindung mit Hilfe von *Interest-Operatoren* durchführen zu können, bedarf es einer Erweiterung bzw. Modifikation des Verfahrens von Roic. Das Ziel ist nun nicht mehr, durch Bildaufbereitung den Anwender bei der Anzielung von Objektpunkten bzw. -kanten zu unterstützen und dadurch eine Genauigkeits- und Zuverlässigkeitssteigerung zu erzielen, sondern das Bild in eine für maschinelle Analyse [11] und automatische Punktfindung geeigneter Form überzuführen.

Als Bildaufbereitung können all jene Verfahren gesehen werden, die eventuelle Fehler oder Unzulänglichkeiten des Abbildungsprozesses rückgängig machen. Als solche Verfahren gelten beispielsweise Kontrastmanipulation, Rauschunterdrückung, Kantenextraktion u.v.a.m. [3].

3.2 Methode zur Bildaufbereitung

Das Ziel der hier vorgestellten Bildaufbereitung ist es, der Reihe nach gezielt Defekte des Abbildungsprozesses zu minimieren und anschließend die für eine Weiterverarbeitung mit *Interest-Operatoren* relevanten Bildinformationen zu extrahieren. Es ergibt sich ein Bildverarbeitungsverfahren, welches aus 4 Einzelschritten besteht. Die hier vorgeschlagene Reihenfolge dieser Einzelschritte ist wesentlich für das Endergebnis. Die Einzelschritte der Bildaufbereitung sowie deren Abfolge sind in Abbildung 2 dargestellt.

3.3 Kontrastmanipulation

Zu geringer Kontrast ist einer der häufigsten Defekte bei (digitalen) Bildern. Pixel, die verschiedene Objekte repräsentieren, haben dann nahezu die gleichen Grauwerte. Dies hat zur Folge, dass wichtige Detailinformationen im Bild nicht erkennbar sind und daher bei einer Weiterverarbeitung verloren gehen [10].

Ein wichtiges Werkzeug für die Beurteilung des Kontrastes eines Bildes ist das Grauwertistogramm bzw. das kumulative Grauwertistogramm. Im Gegensatz zum „normalen“ Grauwertistogramm, bei dem die Verteilung der Grauwerte des Bildes wiedergegeben wird, ist beim kumulativen Grauwertistogramm die Anzahl der jeweiligen Grauwerte als Treppenfunktion aufsummiert [1].

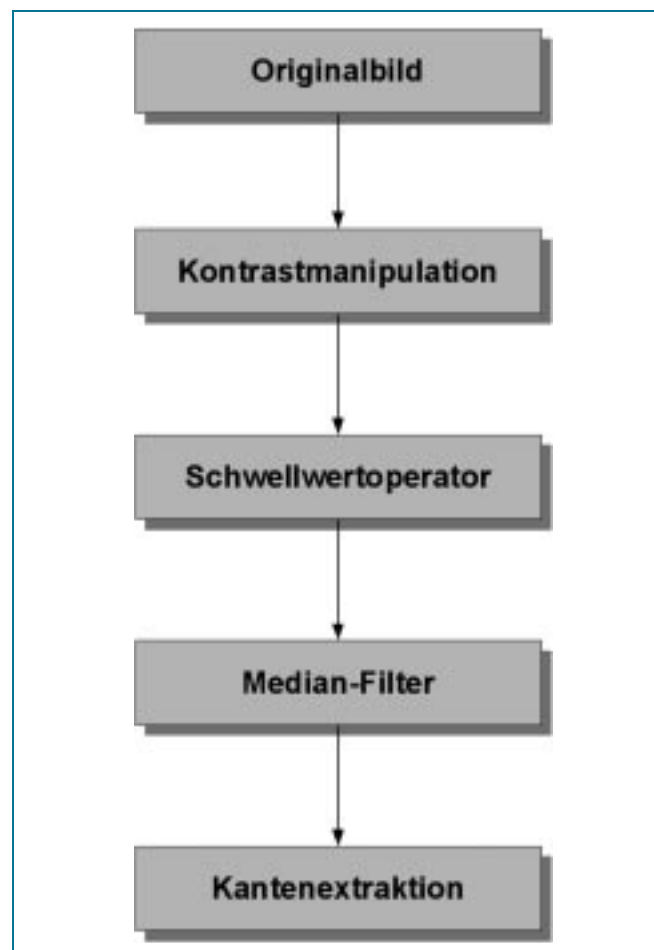


Abb. 2: Ablauf der Bildaufbereitung

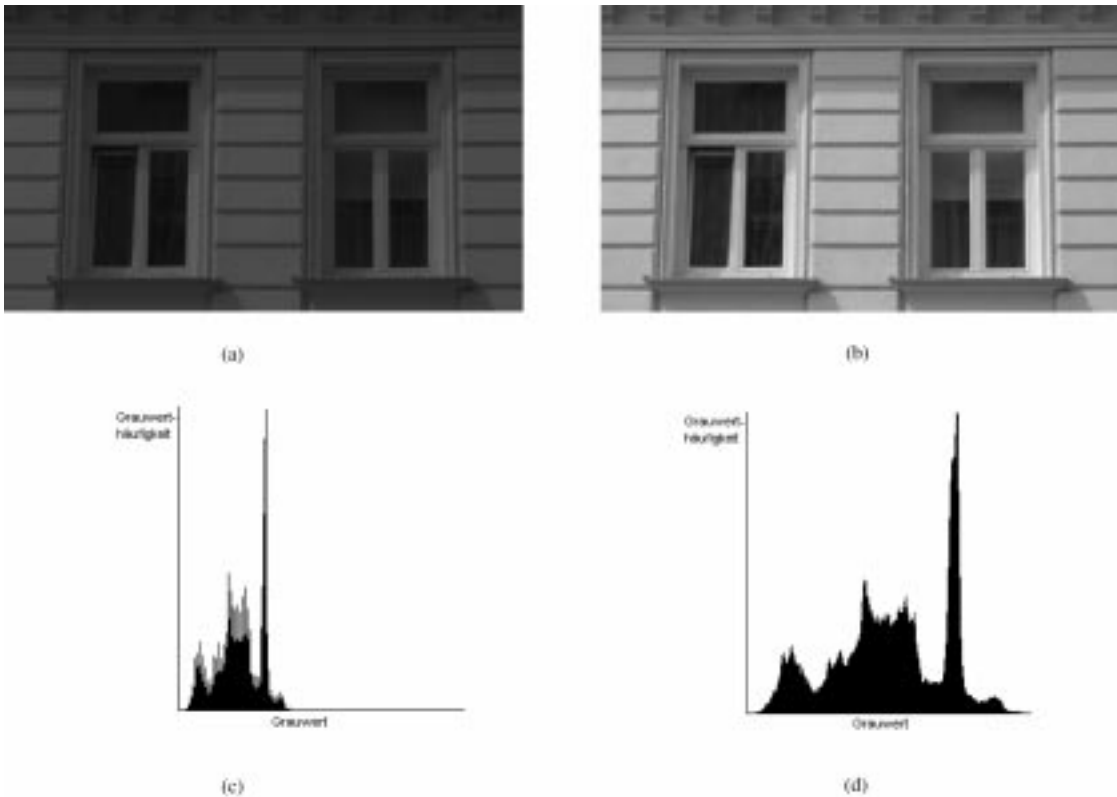


Abb. 3: Gegenüberstellung eines Bildes mit schlechtem (a) und gutem (b) Kontrast, inklusive des jeweiligen Histogramms der Grauwerte (c, d)



Abb. 4: Originalbild nach Histogrammstreckung

Eine sehr einfache Methode der Kontrastverstärkung ist die Histogrammstreckung (häufig auch als spezielle Form der Histogrammebnung bezeichnet). Dabei erfolgt ein Auseinanderziehen benachbarter Grauwerte, um wichtige Details erkennbar zu machen (vgl. Abbildung 3). Eine Möglichkeit der Realisierung ist der Austausch der ursprünglichen Grauwerte durch die Häufigkeit ihres Auftretens. Diese sind dem kumulativen Histogramm direkt zu entnehmen. Ein Vorteil dieser Methode ist die vollständige Automatisierbarkeit [1] und die Möglichkeit einer effizienten Implementierung. Das Ergebnis einer solchen Kontrastmanipulation ist ein wesentlich kontrastreicherer Bild (vgl. Abbildung 4).

3.4 Schwellwertoperator

Der Schwellwertoperator stellt eine der einfachsten Methoden der Bereichssegmentierung dar. Sämtliche Grauwerte unterhalb einer bestimmten Schwelle werden auf Grauwert 0 gesetzt, alle anderen auf Grauwert 255; es ergibt sich ein „Binärbild“. Die eigentliche „Kunst“ ist dabei den richtigen Schwellwert zu wählen. Bei Bildern, auf denen das Objekt klar vom Hintergrund getrennt erscheint, kann diese Schwelle genau zwischen die beiden Maxima des Grauwert-Histogramms gesetzt werden.

Schwierigkeiten bereitet der Schwellwertoperator vor allem dann, wenn das Objekt (bzw. das Bild) nicht über eine gleichmäßige Ausleuchtung oder eine klare Abgrenzung vom Hintergrund verfügt. Eine mögliche Unterscheidung eventueller Schlagschatten und der eigentlichen Objektgrenzen ist dann nicht mehr gegeben, eine klare Trennung des Objektes vom Hintergrund somit unmöglich [10].

Das Ziel des Schwellwertoperators ist eine möglichst effiziente Trennung des Objektes vom Hintergrund; dadurch wird eine extreme Kontrastverstärkung (Grauwert 255 und 0) zwischen Objekt und Hintergrund erreicht (vgl. Abbildung 5). Abbildung 5 zeigt jedoch auch sehr deutlich die Probleme auf, welche der Schwellwertoperator mit sich bringt. Bildteile, welche über geringen Kontrast verfügen (vgl. linke obere Ecken der Fenster und linke vertikale Kante der Bossen), verschwinden durch den Schwellwertoperator völlig. Es muss individuell entschieden werden, ob der Schwellwertoperator angewandt werden kann oder ob durch ihn eine zu starke Informationsreduktion auftritt.



Abb. 5: Originalbild nach Histogrammstreckung und Schwellwertoperator (Schwelle = 125)



Abb. 6: Originalbild nach Histogrammstreckung, Schwellwertoperator und Median-Filter (3 x 3)

3.5 Median-Filter

Der Median-Filter sortiert sämtliche unter einer Maske befindlichen Grauwerte gemäß ihrer Beträge und wählt als Ergebnis deren Median, d.h. den Grauwert in der Mitte der sortierten Liste. Der Median-Filter entfernt somit hohe und niedrige Grauwerte, ohne Grauwertsprünge abzuflachen. Er eignet sich vor allem zur Entfernung von Impulsrauschen [1]. Mit Hilfe des Median-Filters gelingt es, „Störpixel“, welche später durch den *Interest-Operator* als Punkte interpretiert werden könnten, zu entfernen (vgl. Abbildung 6); dabei muss jedoch beachtet werden, dass nicht eine zu starke Informationsreduktion auftritt.

3.6 Kantenextraktion

Die Kantenextraktion soll im Gegensatz zu Glättungsfiltern lokale Variationen der Grauwerte eines Bildes hervorheben und konstante Grauwerte unterdrücken. Kanten bilden sich im Idealfall durch abrupten Helligkeitswechsel ab, der durch eine (große) Grauwertdifferenz benachbarter Pixel wiedergegeben wird.

Ein Kantenextraktions-Operator soll im Wesentlichen zwei Voraussetzungen erfüllen [3]:

- Die Lage der Kante soll nicht verändert werden.
- Die Kantenextraktion soll isotrop sein. Es sollen somit sämtliche Kanten verstärkt werden, unabhängig von bestimmten Richtungen.

In der digitalen Bildverarbeitung werden eine Unzahl von Kantenextraktionsalgorithmen verwendet. Zu den bekanntesten zählen Roberts-Cross-, Sobel-, Prewitt- und Kirsch-Operator. Jeder dieser Operatoren reagiert unterschiedlich auf vorhandene Rauschanteile im Bild. Auf Grund der bisher durchgeführten Bildaufbereitung, bei welcher ein zentraler Punkt die Beseitigung von Störanteilen bzw. Störpixeln im Bild war, spielte der verwendete Kantenextraktionsalgorithmus eine untergeordnete Rolle. Nachfolgend wird als Kantenextraktionsverfahren der *Frei-Chen-Operator* verwendet. Der *Frei-Chen-Operator* arbeitet mit neun Masken; ein 3×3 Pixelfeld des Bildes wird durch die gewichtete Summe von neun Frei-Chen-Masken repräsentiert. Die Bearbeitung des Bildes erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird das Bild mit jeder der neun Masken bearbeitet, anschließend werden in einem zweiten Schritt die Resultate der einzelnen

Masken additiv verknüpft. Die neun Frei-Chen-Masken lauten wie folgt:

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & \sqrt{2} & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \\ -\sqrt{2} & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & -1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -\sqrt{2} \end{bmatrix} \quad \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{6} \begin{bmatrix} -2 & 1 & -2 \\ 1 & 4 & 1 \\ -2 & 1 & -2 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Der Effekt des *Frei-Chen-Operators* ist eine klare Trennung der Objektkanten vom Hintergrund. Es zeigt sich sehr eindrucksvoll die Überführung des „aufbereiteten“ Bildes (vgl. Abbildung 6) in eine vereinfachte, strichzeichnungsähnliche Darstellung; Grauwertdifferenzen werden als Kanten (Linien) abgebildet (vgl. Abbildung 7).

4 Punktfindung in aufbereiteten digitalen Bildern

Durch die umfangreiche, mehrstufige Bildaufbereitung wurde das ursprüngliche Bild in ein stark vereinfachtes Bild übergeführt (vgl. Abbildung 7). Insbesondere wurden dadurch beeinträchtigende Störungen weitgehend beseitigt.

Die Anwendung eines *Interest-Operators* auf das aufbereitete Bild liefert nun ein deutlich besseres Ergebnis (Abbildung 8). Wie ein direkter Vergleich von Abbildung 1 und Abbildung 8 zeigt, konnte die Punktmenge

durch Reduktion von Bildstörungen und die Minimierung der Bildinformation drastisch reduziert werden. Es werden keine markanten Punkte auf Fensterflächen, Bossen des Mauerwerks etc. geliefert.

Das vorgestellte Verfahren wurde an über 40 verschiedenen Fassadenbildern erprobt; in zahlreichen Experimenten wurde versucht, natürliche Aufnahmesituationen nachzubilden. Dafür wurde das Kontrastverhältnis der Bilder stark verändert, starke Abdunkelungen und Aufhellungen vorgenommen und verschieden intensives Impulsrauschen eingebracht. Bei sämtlichen Situationen erwies sich die Bildaufbereitung als sehr robust. Schwächen zeigten sich lediglich bei extrem schlechten Kontrastverhältnissen. Vielfach konnte dies mit einer bereichsbezogenen Histogrammstreckung umgangen werden. Das gesamte Bildarchiv befindet sich unter folgender URL: <http://info.tuwien.ac.at/ingeo/research/bvv.html>

Das vorgestellte Verfahren zeigte sich ferner robust gegenüber verschiedener Aufnahmerichtungen. Dabei hängt das Ergebnis in erster Linie vom verwendeten *Interest-Operator* und von eventuell vorhandenen Helligkeitsunterschieden auf Grund der unterschiedlichen Blickwinkel ab [8].

Der Rechenaufwand der beschriebenen Aufbereitung kann als gering bezeichnet werden. Histogrammstreckung, Schwellwertoperator und Median-Filter fallen beim Leistungspotential aktueller Hardware kaum ins Gewicht. Geringfügig aufwendiger gestaltet sich die Abarbeitung des Bildes mit den neun Frei-Chen-Masken. Insgesamt kann aber festgestellt werden, dass die vorgestellte Bildaufbereitung an moderne Hardware keine besonderen Anforderungen stellt. Untersuchungen der benötigten Laufzeiten der einzelnen Aufbereitungsschritte belegen die Effektivität der Bildaufbereitung. Bezogen auf die Laufzeit eines *Interest-Operators* (z.B. *Förstner-Interest-Operator*) fallen die zusätzlichen Berechnungszeiten für eine vorgeschaltete Bildaufbereitung nicht ins Gewicht; wird nun die kürzere Laufzeit des *Interest-Operators*, welche aus der Informationsreduktion durch Bildaufbereitung resultiert, berücksichtigt, ergibt sich eine wesentlich kürzere Gesamtlaufzeit (vgl. Tabelle 1).

Abbildung 8 zeigt, dass der *Interest-Operator* hauptsächlich Punkte liefert, die sich intuitiv als markante Punkte für eine Objekterfassung und Deformationsmessung eignen würden (Eckpunkte der Bossen und des Mauerwerks). Weiterhin wird jedoch auch eine Vielzahl für



Abb. 7: Kantenextraktion mit Hilfe des Frei-Chen-Operators (invertiert)

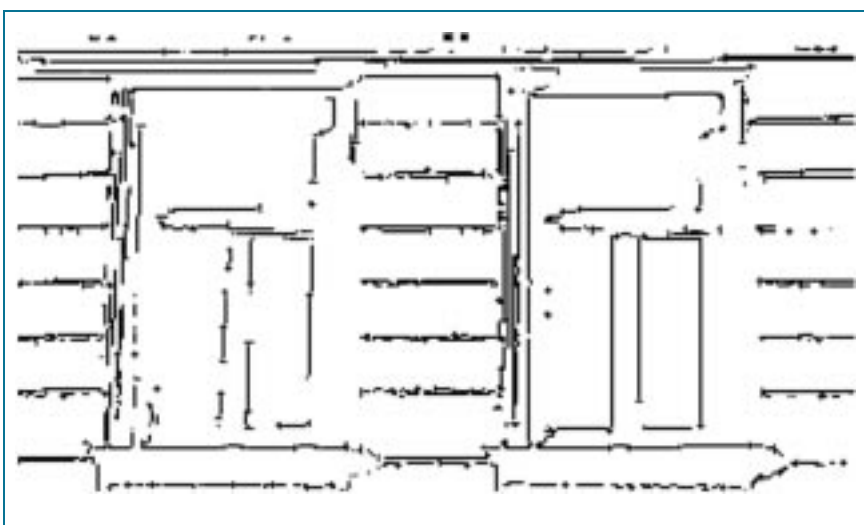


Abb. 8: Förstner-Interest-Operator angewandt auf das aufbereitete Bild

Tab. 1: Laufzeiten der unterschiedlichen Bildaufbereitungsschritte und exemplarisch eines Interest-Operators mit und ohne Bildaufbereitung. Bild: 640 × 480 × 8 BPP. Hardware: Intel P4 – 1500 MHz

Bezeichnung	Laufzeit	Laufzeit
Kontrastmanipulation (Histogrammstreckung)	< 0,50 Sek.	–
Schwellwertoperator	< 0,50 Sek.	–
Median-Filter (3 × 3)	< 0,50 Sek.	–
Kantenextraktion (Frei-Chen-Operator)	~ 1,00 Sek.	–
<i>Interest-Operator</i> (Förstner-Interest-Operator)	~ 8,00 Sek.	~ 23,00 Sek.
Summe	~ 10,50 Sek.	~ 23,00 Sek.

die Deformationsmessung unbrauchbarer Punkte (Fenstercken) geliefert. Die Selektion der entscheidenden Punkte kann mit Hilfe eines Wissensbasierten Systems erfolgen. An der TU-Wien, Abteilung für Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie, wird im Rahmen des FWF Projektes „*Theodolite-based and Knowledge-based Multi-Sensor-System for 3D Object Recognition*“ versucht, die Bildaufbereitung, die Wahl eines geeigneten *Interest-Operators* und die Selektion der für die Deformationsmessung relevanten Punkte mit Hilfe eines Wissensbasierten Systems weitgehend zu automatisieren. Dabei wird Wissen aus einem vorliegendem CAD-Modell, Wissen über das Objektdeformationsverhalten und Wissen über das Verhalten der verwendeten *Interest-Operatoren* verarbeitet.

5 Transformation der Bildmatrix in das System der Theodolitenachsen

Nachdem die Punkte mit Hilfe eines *Interest-Operators* erfasst wurden, liegen die Bildkoordinaten dieser Punkte vor. Es muss nun eine Transformation dieser Bildkoordinaten in das System der Theodolitenachsen vorgenommen werden. Diese Transformation umfasst folgende Teilschritte [5]:

- Abbildung vom CCD-Feld auf eine Referenzrahmenebene in der Bildebene des Objektivs;
- Abbildung von der Referenzrahmenebene auf die rektifizierte Referenzrahmenebene;
- Transformation in das System der Theodolitenachsen.

Die Abbildung vom CCD-Feld auf die Referenzebene erfolgt durch den formalen Ansatz einer Zentralprojektion. Diese Transformation enthält 8 unabhängige Parameter, die durch 4 Passpunkte in den beiden ebenen Systemen eindeutig festgelegt sind. Als Passpunkte dienen die 4 Eckpunkte des Referenzrahmens, deren Koordinaten im digitalen Bild durch Bildverarbeitung gefunden werden und deren Koordinaten im System der Referenzebene aus einer Kalibrierung bekannt sind [5].

Die Rektifizierung der Referenzebene ist für die Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen, welche bei der Montage der Kamera im Abbildungssystem des Theodoliten auftreten, notwendig. Die Transformation in das System der Theodolitenachsen erfolgt durch Berechnung der *Ablagegrößen* dHz und dV . Unter den *Ablagegrößen* dHz und dV versteht man jene Winkelverbesserungen um welche das Fernrohr gedreht werden müsste, damit die Zielachse genau den *Interest Point* anvisiert.

Es gelten folgende Beziehungen zur Berechnung der Ablagegrößen [5]:

$$\begin{bmatrix} \tan(dHz) \\ \tan(dV) \end{bmatrix} = (C_1 D^2 + C_2 D + C_3)^{-1} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$$

- D Position der Fokuslinse (gemessen)
 C_1, C_2, C_3 Ablageparameter (kalibriert)
 x', y' Bildkoordinaten des Zielpunktes in der Referenzrahmenebene (gemessen)
 dHz, dV Ablagegrößen
 Hz, V Horizontalwinkel, Zenitdistanz

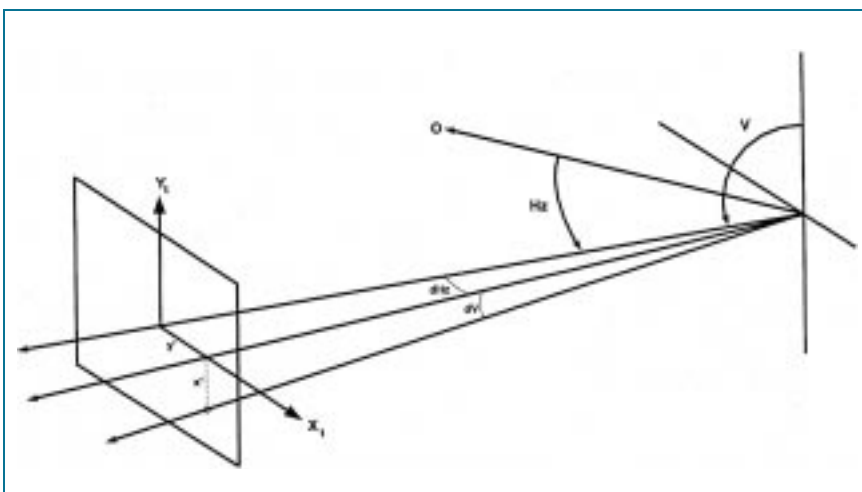


Abb. 9: Berechnung der Ablagegrößen

6 Schlussbemerkung und Ausblick

Die hier vorgestellte Bildaufbereitung erlaubt es für die Bauwerksproduktion und -überwachung im Rahmen automatisierter On-Line Punktfindung möglichst gezielt eine Informationsminimierung und Reduktion von Bildstörungen durchzuführen. Das Verfahren setzt sich aus der Anwendung von Einzeloperatoren (Kontrastmanipulation, Schwellwertoperator, Median-Filter und Kantenextraktion) zusammen. Es wurde an einem Beispiel exemplarisch gezeigt, dass sich diese Bildaufbereitung sehr gut als vorgeschaltetes Verfahren für die Punktfindung mit *Interest-Operatoren* eignet. Vorhandene Bildstörungen konnten weitgehend eliminiert und Bereiche mit mäßigem Kontrast aufbereitet werden. Weitere Resultate sind unter der schon angegebenen URL zu finden. Für die bisher durchgeführten Untersuchungen dienten Bilder von Fassaden. In einem weiteren Schritt ist die Untersuchung und eventuelle Adaption des Verfahrens bzw. der Einzelschritte für andere Aufnahmeobjekte notwendig. Einzeloperatoren zur gezielten Aufbereitung extrem kontrastarmer Bereiche können eine interessante Erweiterung darstellen. Des Weiteren ist es denkbar, mit mehreren *Interest-Operatoren* parallel zu arbeiten und eine Punktreduktion durch Schnittmengenbildung zu erzielen. Der gesamte Auswahlprozess (Wahl der geeigneten Bildaufbereitungsschritte, Wahl eines geeigneten *Interest-Operators* und die eigentliche Punktauswahl) soll in naher Zukunft über ein Wissensbasiertes System erfolgen.

Danksagung: Die hier präsentierten Ergebnisse entstanden im Rahmen des FWF Projektes P14664 „Theodolite-based and Knowledge-based Multi-Sensor-System for 3D Object Recognition“.

Literatur

- [1] BÄSSMANN, H.; KREYSS, J.: Bildverarbeitung ad Oculos, 3. Aufl., Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1998
- [2] FABIANKOWITSCH, J.: Automatische Richtungsmessung mit digitalen Differenzbildern. Dissertation, TU-Wien, 1990
- [3] FÖRSTNER, W.: Statistische Verfahren für die automatische Bildanalyse und ihre Bewertung bei der Objekterkennung und -vermessung, DGK, Reihe C, Heft Nr. 370, München, 1991
- [4] GONZALEZ, R. C.; WINTZ, P.: Digital Image Processing, 5. Aufl., Addison-Wesley Verlag, London, 1982
- [5] KAHMEN, H.; NIESSNER, A.; DE SEIXAS, A.: 3D Object Sensing Using Rotating CCD Cameras. In: Kropatsch/Bischof (Hrsg.), Digital Image Analysis, 1. Aufl., Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2001
- [6] KAHMEN, H.; ROIC, M.: A New Generation of Measurement Robots for Object Reconstruction without Targeting. In: Optical 3-D Measurement Techniques III, Grün and Kahmen (Editors), Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1995
- [7] HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G.: Computer and Robot Vision, 1. Aufl., Addison-Wesley Verlag, New York, 1993

- [8] MISCHKE, A.: Entwicklung eines Videotheodolit-Messsystems zur automatischen Richtungsmessung von nicht signalisierten Objektpunkten. Dissertation, TU-Wien, 1998
- [9] MISCHKE, A.; KAHMEN, H.: A New Kind of Measurement Robot System for Surveying of non Signalized Targets. In: Optical 3-D Measurement Techniques IV, Grün and Kahmen (Editors), Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1997
- [10] PETROU, M.; Bosdogianni, P.: Image Processing – The Fundamentals, 1. Aufl., John Wiley and Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1999
- [11] PRATT, W. K.: Digital Image Processing, 1. Aufl., John Wiley and Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978
- [12] ROIC, M.: Erfassung von nicht signalisierten 3D-Strukturen mit Videotheodoliten. Dissertation, TU-Wien, 1996

Anschrift der Autoren:

DI REITERER ALEXANDER, Prof. Dr. KAHMEN HERIBERT
Abteilung für Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie
Institut für Geodäsie und Geophysik
Technische Universität Wien
Gusshausstraße 27–29
A-1040 Wien
e-mail: areitere@pop.tuwien.ac.at
e-mail: heribert.kahmen@tuwien.ac.at

Prof. Dr. EGLY UWE, Prof. Dr. EITER THOMAS
Abteilung für Wissensbasierte Systeme
Institut für Informationssysteme
Technische Universität Wien
Favoritenstraße 9–11
A-1040 Wien
e-mail: uwe@kr.tuwien.ac.at
e-mail: eiter@kr.tuwien.ac.at 11

Zusammenfassung

In der Bauwerks- und Fertigungsindustrie werden zunehmend berührungslose Vermessungsverfahren gefordert. Mit Hilfe von motorisierten Videotheodoliten und der Anwendung von *Interest-Operatoren* ergibt sich ein flexibles On-Line Messverfahren. Verzichtet man bei der Aufnahme von Objekten auf Zielmarken, so tritt bei Bildern realer Szenen das Problem auf, dass eine unüberschaubare Anzahl von Punkten geliefert wird. Für die praktische Anwendung ist es unerlässlich, eine Reduktion auf die wesentlichen Punkte durchzuführen. Nachfolgend wird ein mehrstufiges Bildaufbereitungsverfahren vorgestellt, das dieses Problem durch gezielte Reduktion der Bildinformation umgeht.