

Hoch qualitative
Texturrekonstruktion von
mehrfachen
Abtastungen / Scans

Seminar „Auswertung von 3D-Daten“

Wintersemester 2002 / 2003

Mathias Dottke

Gliederung

1. Grundlagen
2. Einleitung
3. Bildbasierter Abgleich / Registration
4. Ergebnis

1. Grundlagen

- **Albedo** ... Rückstrahlungsvermögen von nicht selbstleuchtenden, diffus reflektierenden Oberflächen (aus [4] Seite 45)
- **Abstandsbild** ... für jeden abgetasteten Punkt ist der Abstand bekannt (über mathematische Beziehungen)
- **Bildebene** ... ebene Bildfläche ([3])
- **Bildkoordinatensystem** ... Festlegung eines kamerafesten Bezugssystems, Ursprung liegt in der Bildmitte ([3])
- **Dreiecksvermaschung** ... Zerlegung einer Oberfläche in Dreiecke
es sollte eine hierarchische topologische Struktur aufgebaut werden, Bsp. Baumstruktur
Approximation in kleine Stücke hat Vorteil bei der Bestimmung eines Normalenvektors, ...
- **Innere Orientierung** ... handelt sich um kameraspezifische Größen, Bsp. Kamerakonstante c ([3])
- **Intensitätsbild** ... zeichnet die Intensität des reflektierenden Lasersignals auf, Intensität hängt von folgenden Faktoren ab: spektraler Reflexionsgrad der Objektoberfläche und von der räumlichen Orientierung von der Objektoberfläche zur Richtung des Laserstrahles
- **Objektebene** ... beinhaltet Objektpunkt ([3])
- **Objektkoordinatensystem** ... Objekt befindet sich in einem 3D – Koordinatensystem ([3])

2. Einleitung (1)

Ziel: Rekonstruktion hochqualitativer Textur realer 3D – Objekte von mehrfachen Abtastungen

Wofür: wo visuelle Qualität wichtig ist
(e-commerce, virtuelle Museen, ...)

- die hochwertige Texturerkennung steckt noch in den Kinderschuhen, bisher wurde viel Aufmerksamkeit für die Geometrie der abgetasteten Objekte aufgewendet
- hier werden Methoden beschrieben, um akkurate digitale Modelle von gescannten Objekten zu konstruieren

Wie: hoch qualitative Texturen und Normalenkarten mit geometrischen Daten werden integriert,
für Verwendung von billigen elektronischen Kameras, in dem niedrig auflösende Abstandsbilder mit hoch auflösenden Intensitätsbilder erfasst werden

2. Einleitung (2)

- Texturdaten werden oft zusammen mit der Geometrie aufgenommen
- Allerdings fängt ein typisches System kaum eine Sammlung von Bildern ein, die die besonderen Beleuchtungsbedingungen darstellen
- Zudem ziemlich schwierig Beleuchtungsbedingungen realistisch zu simulieren
- Hier: hochauflösende digitale Farbkamera benutzt, erwirbt Intensitätsbilder unter kontrollierten Beleuchtungsbedingungen, vergleichsweise wird die Geometrie mit niedriger Auflösung erfasst

Intensitätsbild und Abstandsbild werden gleichzeitig aufgenommen

- Scanner benutzt ein hybrides Photometrisches System
(hybrid: Vorzüge der photographischen Bildaufnahme werden verbunden mit den Vorteilen der digitalen Bildauswertung
(Nachteil: Zeitaufwand durch separates Digitalisieren sowie mögliche Qualitätsverluste bei der Abtastung)
- Für die Berechnungen werden Punkte ausgewählt, diese werden in ein Dreiecksnetz interpoliert → damit lässt sich effizienter arbeiten

3. Bildbasierter Abgleich / Registrierung

Ziel:

- die geometrischbasierte Ausrichtung von 3D-Aufnahmen zu verbessern

Wie:

- Zuerst Ausrichtung der Position der Aufnahmen im Objektkoordinatensystem → Stereoskopisches Modell
- Berücksichtigung von noch vorhandenen Ausrichtungsfehlern (z.B. Versetzung)
- Berücksichtigung von Zusatzinformationen mit hochauflösenden Detailinformationen, welche für jede Aufnahme berechnet werden
- Anschließende Verwendung von Filtern (z.B. Glättungsfilter), um Störungen zu vermindern (durch Digitalisieren kann Rauschen entstehen)
- Berechnung von fehlenden Detailinformationen
- Eventuelle Berechnung eines Ähnlichkeitsmaßes zwischen einem Musterbild und einem Suchbild (z.B. durch Kreuzkorrelation)

Hier wurden Grauwert Albedokarten und Geometrieinvariante Bilder von den Normalen (Senkrechtaufnahmen) abgeleitet.

Bildbasierter Abgleichalgorithmus (1)

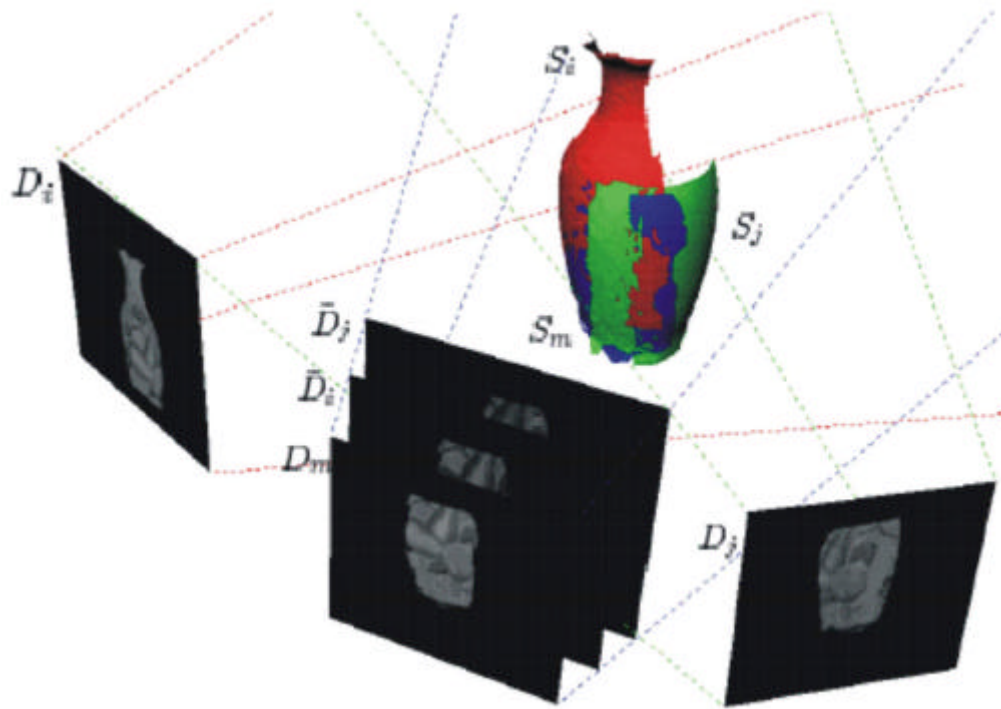
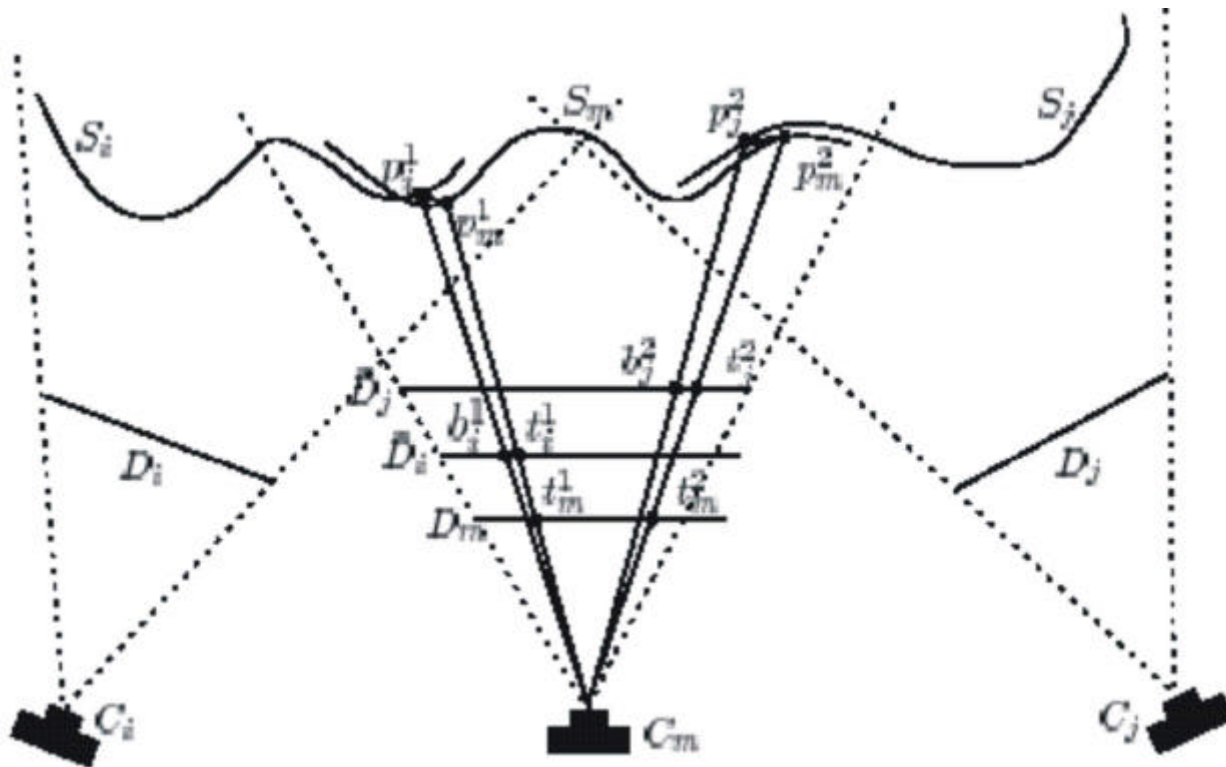


Abbildung 02

Abbildung 02 zeigt Scan S_m (blau) mit korrespondierender Detailabbildung D_m wird abgeglichen mit den zwei überlappenden Scans S_i (rot) und S_j (grün)

Bildbasierter Abgleichalgorithmus (2)

zweidimensionales Schaubild



- 3 Abtastungen S_i , S_j und S_m mit den jeweiligen Detailabbildungen D_i , D_j und D_m
- Kameras sind C_i , C_j und C_m
- zur besseren Ausrichtung wurden S_i und S_j als fest belassen
- S_m beweglich mit Beziehung zu S_i und S_j

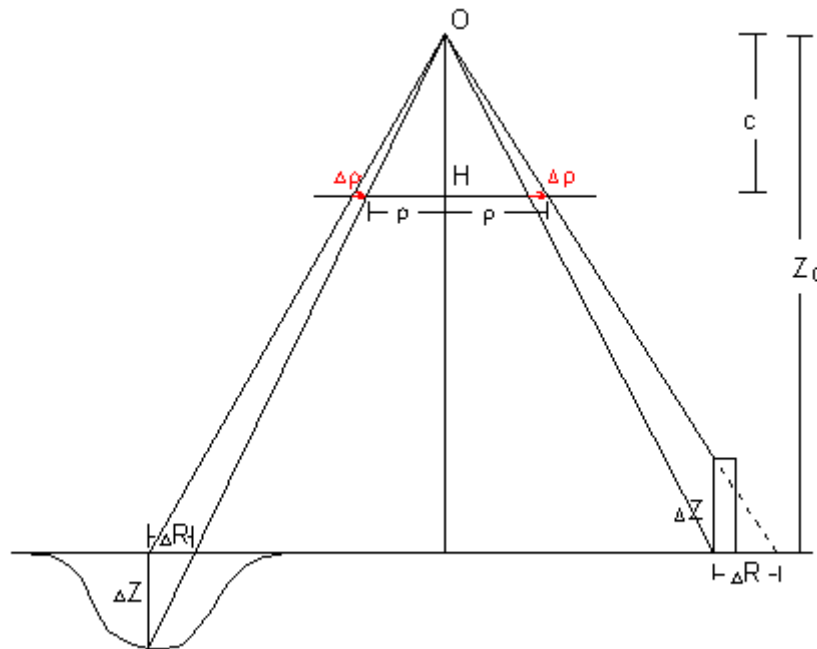
Abbildung 03

Bildbasierter Abgleichungsalgorithmus (3)

- Detailabbildungen D_i und D_j werden auf ihre jeweilige Geometrie wieder abgebildet und aufgenommen von C_m bzw. die projizierten Detailbilder \tilde{D}_i und \tilde{D}_j werden erzeugt
- Idealfall: Bilder \tilde{D}_i und \tilde{D}_j würden identisch sein mit D_m (im Überlappungsbereich)
Vorraussetzung: Fehler wie Rauschen und Fehler in der Anfangsausrichtung sind nicht vorhanden
- Praxis: kommt meistens zur einer Versetzung, da Fehler in der Ausrichtung nicht ganz vermieden werden können

Einschub: Bildversetzung

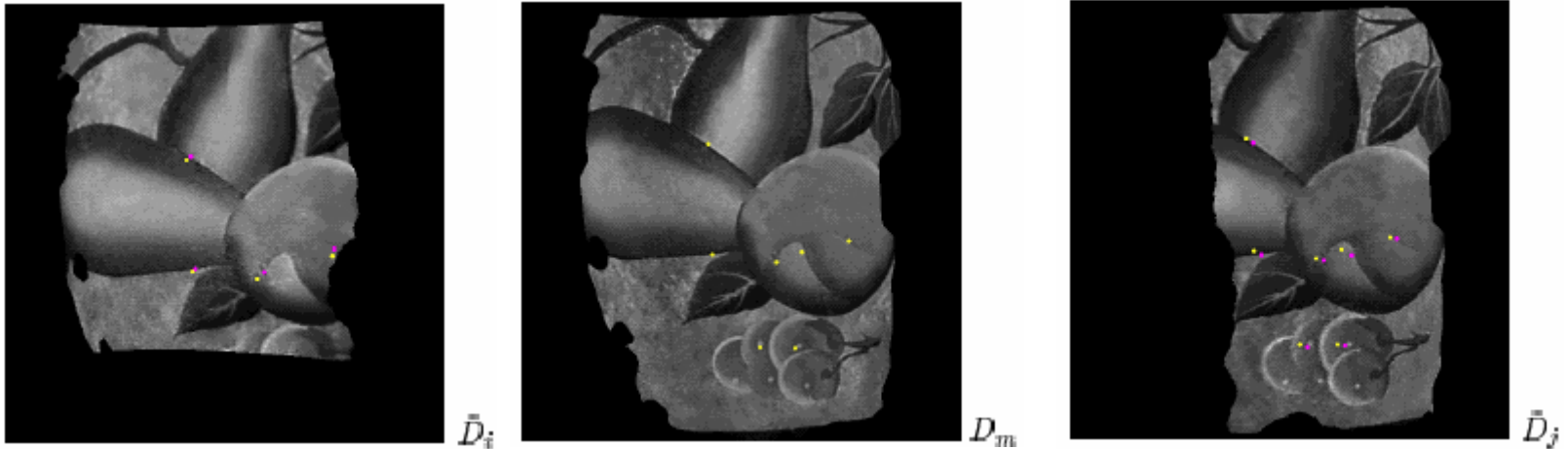
Ein Problem ergibt sich dadurch, dass Objektpunkte, die außerhalb der angenommenen Bezugsebene liegen, im Bild in Richtung des Bildhauptpunktes versetzt abgebildet werden, das heißt das es durch Tiefen und Erhöhungen zu einer fehlenden Übereinstimmung kommt. Des Weiteren kann es zu Fehlern bei der Überlappung kommen, so dass auch dort eine Versetzung auftreten kann. (Abbildung unten aus [3])



Bildbasierter Abgleichalgorithmus (4)

- nimmt man t_m^1 im Bild D_m als einen Abtastpunkt, mit den Punktkoordinaten (u, v) und t_i^1 ist der Punkt im Bild \tilde{D}_i mit denselben Koordinaten (u, v)
- Punkt b_i^1 befindet sich in der Nachbarschaft von t_i^1
 - handelt sich um eine Versetzung zum Punkt t_i^1 , da Überlappung nicht ganz genau vorgenommen werden kann
(das gleiche passiert im Punkt t_m^1)
- Punkte t_m^1 und b_i^1 werden auf $p_m^1 \in S_m$ und $p_i^1 \in S_i$ zurück projiziert und anschließend wird das Paar (p_m^1, p_i^1) gespeichert
- Prozess wird für andere Abtastpunkte auf D_m (im Überlappungsbereich) wiederholt
- nachdem alle Abtastungen abgearbeitet wurden, werden die gespeicherten Paare zur Berechnung einer Transformation benutzt
 - Verbesserung der Position der Abbildungen S_m zu S_i und S_j durch die Methode der kleinsten Quadrate Anpassung

Bildbasierter Abgleichalgorithmus (5)



- obere Abbildung zeigt die anfänglichen Punkte (Gelb) und die Endpunkte (Magenta)

Für das Finden von Abtastpunkten wird folgender Algorithmus verwendet:

Input: aufgenommene Abtastungen: S_1, \dots, S_N
 anfängliche Abgleichungsmatrizen: M_1, \dots, M_N
 Detailabbildungen: D_1, \dots, D_N
 Tiefeninformationen: Z_1, \dots, Z_N
 Rahmeninformationen: B_1, \dots, B_N (Rahmenmarken)
 Liste der Abtastpunkte: L_1, \dots, L_N
 wo $L_m = \{(t_m, p_m) | t_m \in D_m, p_m \in S_m\}$
 Kamerakonstante: C

Output: akkurate Abgleichungsmatrizen: M_1, \dots, M_N

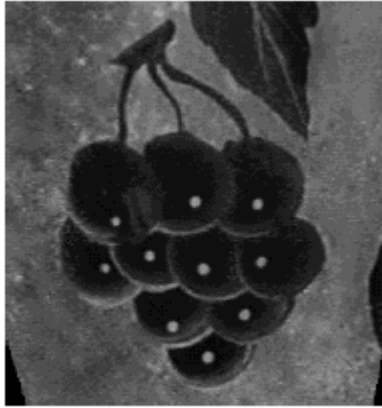
Algorithmus: Abbildungsalgorithmus zur Abgleichung

1. read B_1, \dots, B_N
2. while (Konvergenzkriterium nicht zufriedenstellend)
3. $(m_1, \dots, m_N) =$ Zufallsvertauschung $(1, \dots, N)$
4. for $(m=m_1, \dots, m_N)$
5. $C_m =$ Kamera(M_m, C)
6. Abtastungsaufnahme(m, C_m)

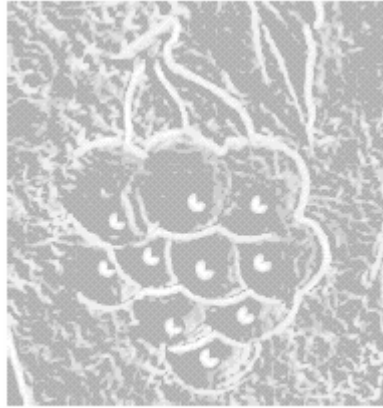
Procedure register_scan(m, C_m)

1. read D_m, Z_m, L_m
2. for($i=1, \dots, N$) and ($i \neq m$)
3. read S_i, D_i
4. if (B_m schneidet B_i)
5. $\tilde{D}_i = \text{project_scan}(S_i, D_i, C_m)$
6. $O_{mi} = \text{überlappende_Bildberechnung}(D_m, \tilde{D}_i)$
7. if ($|O_{mi}| > \text{minimale_Überlappung}$)
8. for ($(t_m, p_m) \in L_m$) and ($t_m \in O_{mi}$)
9. $t_i = t_m$
10. $b_i = \text{finde_beste_Übereinstimmung}(t_m, D_m, t_i, \tilde{D}_i)$
11. $p_i = \text{zurück_projiziert}(b_i, S_i, C_m) \in S_i$
12. Paar_einfügen(p_m, p_i , Paarliste)
13. if ($|Paarliste| \geq 3$)
14. $M_m = \text{Transformation_berechnen}(Paarliste)$

Folgendes Kantenerkennungsverfahren wird benutzt:



(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) Zeigt ein Teil des Originalbildes (etwas verschwommen)
Gauß-Filter benutzt um Störung zu reduzieren
- (b) Anwendung des horizontalen und vertikalen Sobel Operators
Enthält das Ergebnis der zwei separaten Bilder
- (c) Anwendung einer Schwellwertoperation, um Regionen mit niedriger Gradientenschwankung zu filtern. Schwellwert wird automatisch ausgewählt, bezieht sich auf ein Bildhistogramm
Ergebnis beinhaltet Werte, wo sich die Gradientenschwankung über dem Schwellwert und 0 befindet
- (d) Alle Pixelwerte unterhalb des Schwellwertes werden auf 0 gesetzt

Glättungsfilter

Glättungsfilter: dienen vor allem der Verminderung des Grauertrauschens, das bei der Digitalisierung entstanden sein kann

Ein Glättungsfilter ist der Gaußfilter

besitzt im mathematischen Sinne optimale Glättungseigenschaften die Koeffizienten der entsprechenden Filtermaske werden aus der zweidimensionalen Gaußfunktion gebildet
(Luhmann Seite 367)

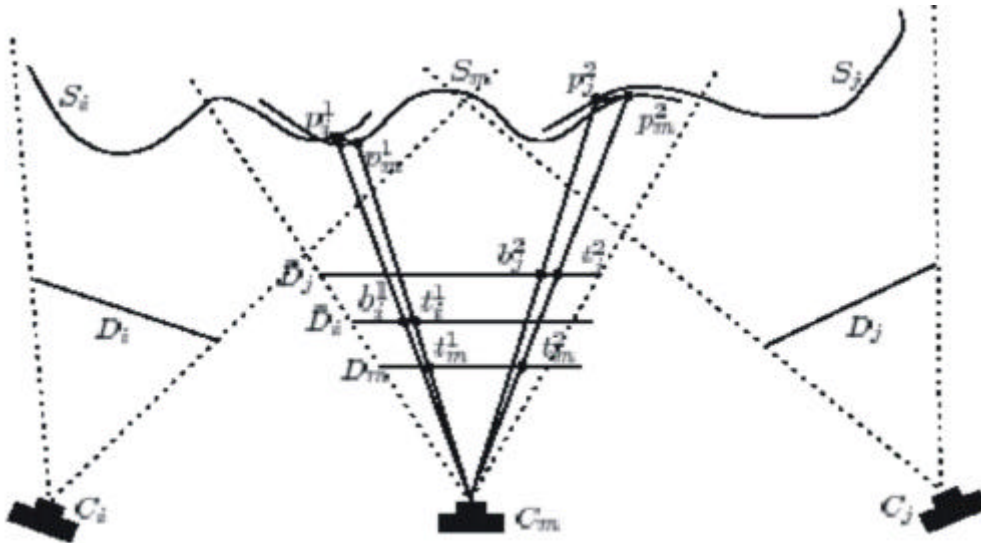
Sobel Operator (Gradientenfilter):

er approximiert die 1. Ableitungen in x und y durch getrennte Faltung mit den Filtermasken

$$H_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad H_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Projektion von Detailabbildungen

Für die Ausrichtung der Aufnahme S_m werden die Punktepaare mit Ihren korrespondierenden Punkten in der Detailabbildung D_m abgeglichen und auch die Detailabbildung der überlappenden Aufnahmen.



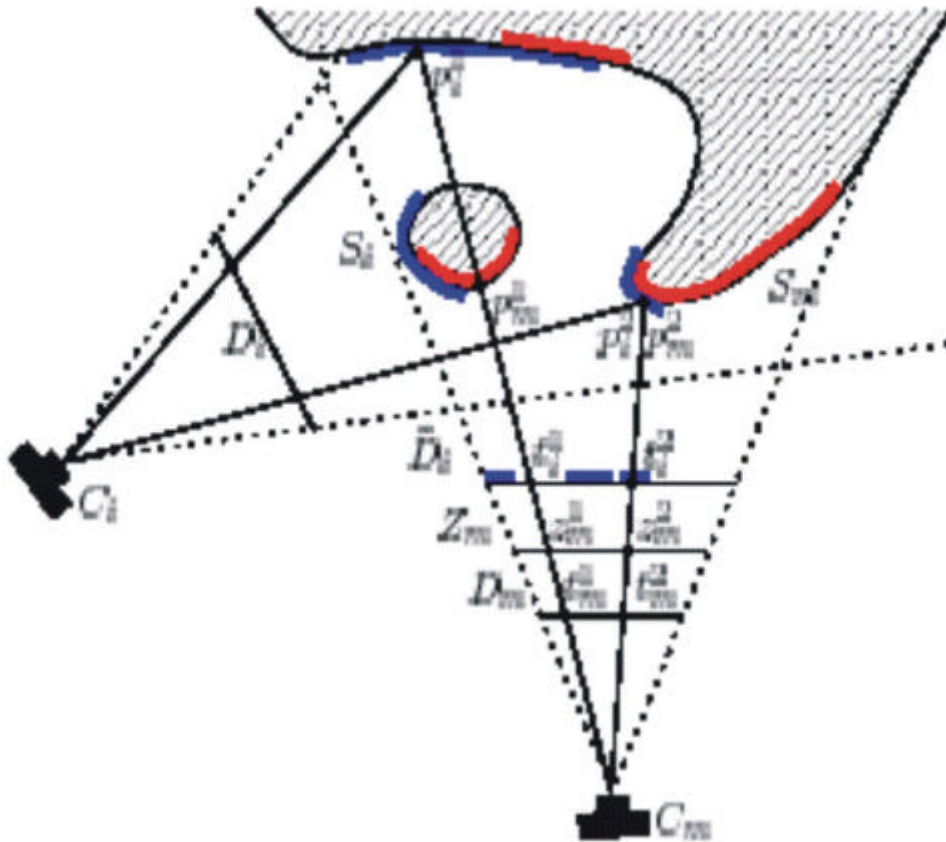
Vergleich von 2 Detailabbildungen D_m und D_i

➔ benötigen dieselbe Kameraposition

Dazu muss D_i in die Bildebene der Kamera C_m gebracht werden, dabei kann es zu Verdeckung kommen

Dies wird näher am folgenden Bild erklärt

Verdeckung (1)



- Kamera C_i und C_m
- Detailabbildungen D_i und D_m
- Tiefeninformation Z_m

-Rot und Blau zeigen die Aufnahmen von S_m und S_i

Verdeckung (2)

Hierbei werden Tiefeninformationen (bei jeder Aufnahme) gespeichert (Z_m) um das Problem der Verdeckung zu vermeiden.

Die verdeckten Teile von S_i sind damit nicht korrekt abgelegt und die selben Regionen in der projizierten Detailabbildung \tilde{D}_i enthalten keine Texturen.

- Punkt p_i^1 sichtbar von C_i aber nicht von C_m
- Detailabbildung D_i wird auf Oberfläche zurück projiziert und dann auf Bildebene D_m
- Tiefeninformation Z_m korrespondiert mit der Aufnahme S_m
- braucht man für Abdeckung der Punkte von S_i , da diese nicht sichtbar von C_m
- p_i^2 sichtbar von C_m Texturaufnahme auf \tilde{D}_i

- Rot und Blau zeigen die Aufnahmen von S_m und S_i
- Gebiet \tilde{D}_i erhält Texturen von Aufnahme S_i (hervorgehoben durch blau)

p_i^1 ist verdeckt vom Punkt p_m^1 und das korrespondierende Pixel $t_i^1 \in \tilde{D}_i$ bleibt schwarz, während Punkt p_i^2 von C_m gesehen wird und dort erhält t_i^2 die Texturwerte von D_i

Berechnung eines Ähnlichkeitsmaßes zwischen einem Musterbild und einem Suchbild

Stelle der besten Übereinstimmung wird mit der Position des zu suchenden Musters gleichgesetzt

Eine in der Bildverarbeitung bekannte Ähnlichkeitsmaß ist der normierte Kreuzkorrelationskoeffizient. Er wird aus den Standardabweichungen (s_{ii} und s_{mm}) und der Kovarianz s_{mi} berechnet.

Formel Korrelationskoeffizient:

$$r^2 = \frac{s_{mi}^2}{s_{mm} \cdot s_{ii}}$$

$$s_{mm} = \sum D_m(t_m^k)^2 - \frac{1}{n} \left[\sum D_m(t_m^k) \right]^2$$

$$s_{ii} = \sum \tilde{D}_i(t_i^k)^2 - \frac{1}{n} \left[\sum \tilde{D}_i(t_i^k) \right]^2$$

$$s_{mi} = \sum D_m(t_m^k) \tilde{D}_i(t_i^k) - \frac{1}{n} \sum D_m(t_m^k) \sum \tilde{D}_i(t_i^k)$$

Zur Mustererkennung wird das Musterbild über einen Ausschnitt des Suchbildes verschoben, wobei an jeder Position der Korrelationskoeffizient berechnet wird (zeitaufwendig)

Texturrekonstruktion

Ziel: zu generieren nahtlos erstellte Texturabbildung die das Objekt bedeckt

Benutzt werden: Albedokarten und Normalenkarten

Die Eingabe für die Texturrekonstruktion besteht aus einer Kollektion von Höhenfelder der Modelloberfläche und der schließlich registrierten Abbildung mit den neu berechneten Albedo-, Normalen- und Gewichtungskarten

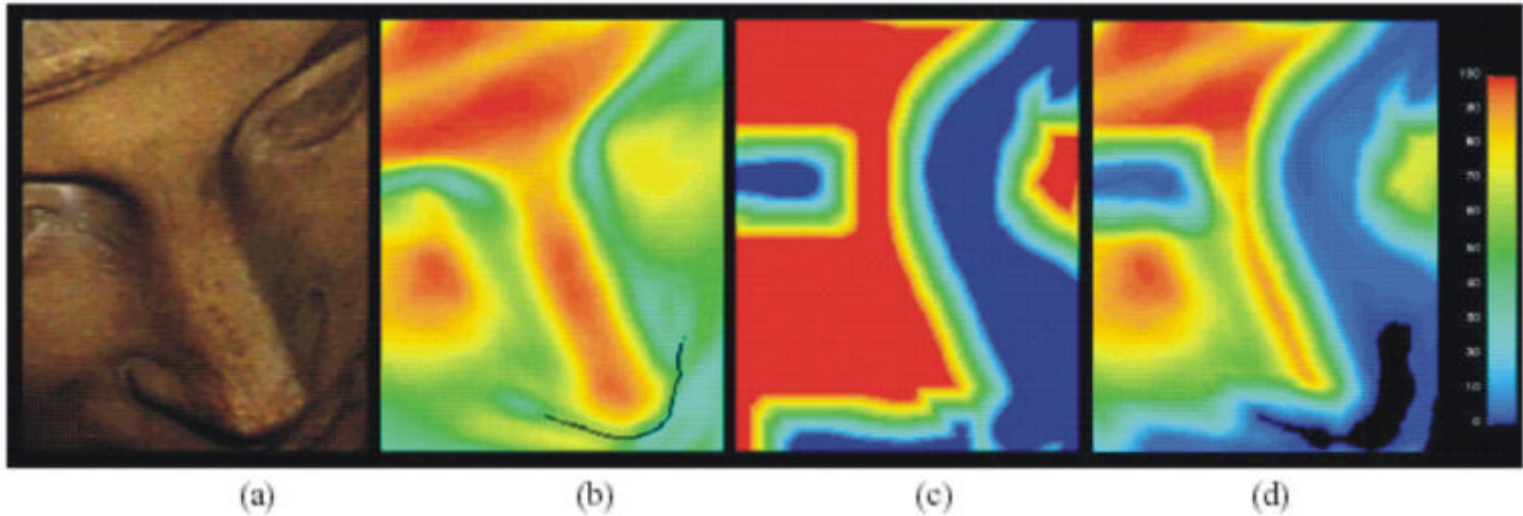
Die Abbildung zwischen Geometrietexturen und korrespondierenden Texturen wird als orthogonale Projektion bezeichnet

Alle einzelnen Texturkarten werden kombiniert

Die Struktur einer Textur kann auf verschiedene Weise erzeugt werden:

- durch Zuordnung einer Farbe
- durch Überlagerung einer künstlichen Textur
- durch Überlagerung der natürlichen Textur aus vorliegenden Fotos des Objektes

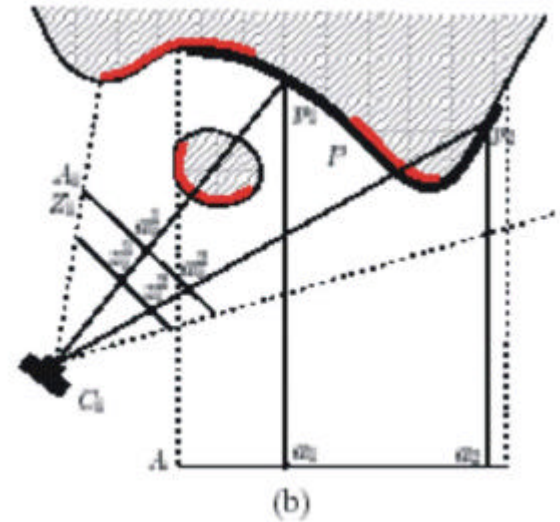
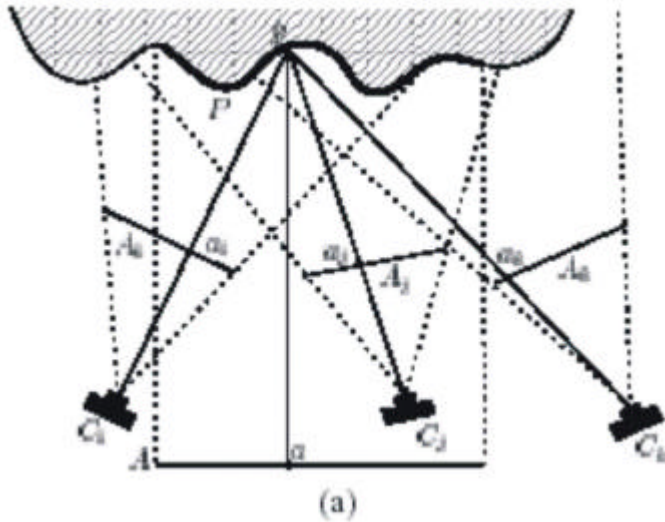
Berechnung von Gewichtungskarten



- (a) Teil eines Intensitätsbild
- (b) Erste vorläufige Gewichtungskarte
(berechnet durch Kosinus der Oberflächennormalen zur Kamerarichtung
geteilt durch das Quadrat der Entfernung zur Kamera)
für jede Verdeckungsgrenze wurde der Wert 0 zugeordnet (Bsp. unter der Nase)
- (c) Zweite vorläufige Gewichtungskarte, nach einer photogrammetrischen
Berechnung (nach glätten) (Übergang von rot zu blau)
- (d) Ergebnis Gewichtungskarte
(b) und (c) werden multipliziert und neu skaliert

Gewichte zwischen 0 und 255, schwarz = 0

Bei (d) schwarzer Fleck, da in beiden Bildern (b) und (c) Werte gering waren



(Abbildung a)

- zeigt Berechnung für jedes Texturpixel
- Albedokarte für Stück P berechnet
- die 3 Scans S_i , S_j und S_k haben gemeinsamen Schnittpunkt auf dem Stück P
- jedes Pixel a auf der Textur A berücksichtigt den entsprechenden Punkt p auf dem Stück P
- dieser Punkt projiziert auf die Punkte a_i , a_j und a_k in den Albedokarten
- und auf w_i , w_j und w_k in den entsprechenden Gewichtungskarten
- die resultierende Albedokarte für a ist

$$(w_i a_i + w_j a_j + w_k a_k) / (w_i + w_j + w_k)$$

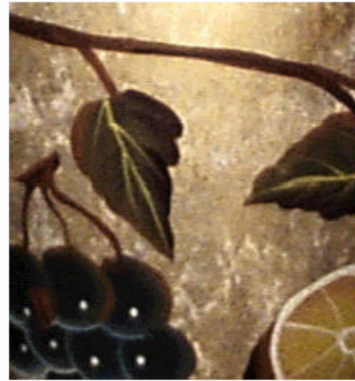
(Abbildung b)

Zeigt eine Verdeckung, p_1 und p_2 erhalten ihre Werte vom Scan S_i

Ergebnis (1)



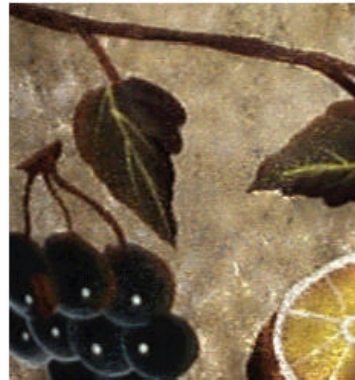
(a)



(b)



(d)



(c)



(e)

- (a) 20 Aufnahmen zur Rekonstruktion der ganzen Vase
- (b) ein Intensitätsbild erfasst durch den Scanner
- (c) berechnete Albedokarten
- (d) rekonstruierte Albedokarte, ohne bildbasierten Abgleich, nur geometrischbasierter Abgleich
- (e) selbe wie (d) jedoch mit bildbasierten Abgleich

Ergebnis (2)



(f)

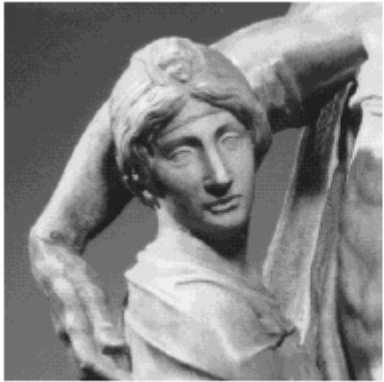


(g)

(f) Fotografie der Vase

(g) Computermodell rekonstruiert

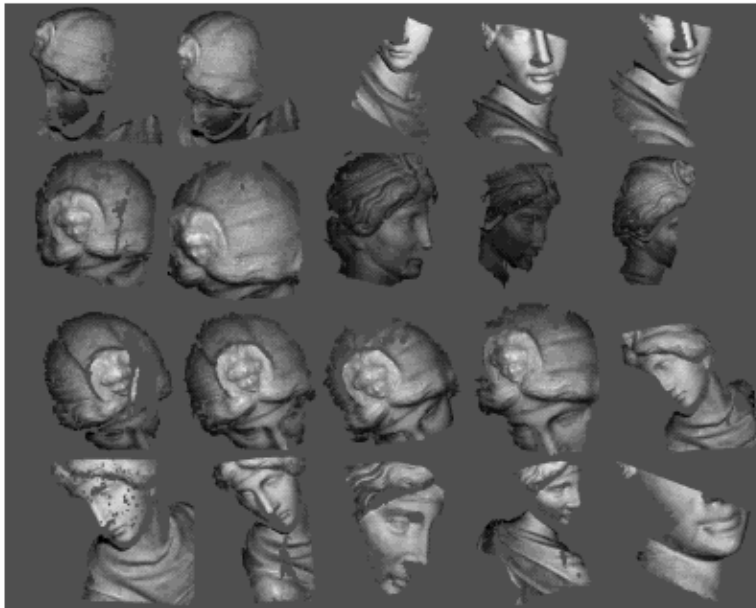
Ergebnis (3)



(a)



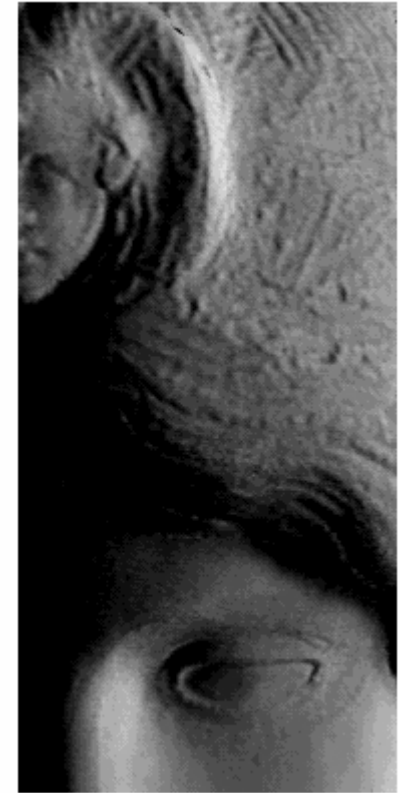
(b)



(c)



(d)



(e)

- (a) Schwarz weiß Fotografie
- (b) Schwarz weiß Fotografie in Großaufnahme
- (c) 20 Aufnahmen zur Rekonstruktion des Kopfes
- (d) Normalenkarte vor bildbasierten Abgleich
- (e) Normalenkarte nach bildbasierten Abgleich
(Details besser erkennbar)

Ergebnis (4)



(f)



(g)

(f) , (g) das rekonstruierte Modell unter zwei verschiedenen Lichtbedingungen

Literaturverzeichnis

- [1] Fausto Bernardini, Ioana M. Martin, Holly Rushmeier
High-Quality Texture Reconstruction from Multiple Scans
Jahr: 2001
http://www.research.ibm.com/vgc/pdf/texalign_TVCG.pdf
- [2] Thomas Luhmann
Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen
Heidelberg: Wichmann, 2000
ISBN: 3-87907-321-X
- [3] <http://www.fpk.tu-berlin.de/cbt/fernerkundung/start/index.html>
(Stand 01/2003)
- [4] Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG
DUDEN Das Fremdwörterbuch
Mannheim: Mannheimer Morgen Großdruckerei und Verlag GmbH, 1990
Buch Nr: 040683