

# 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)

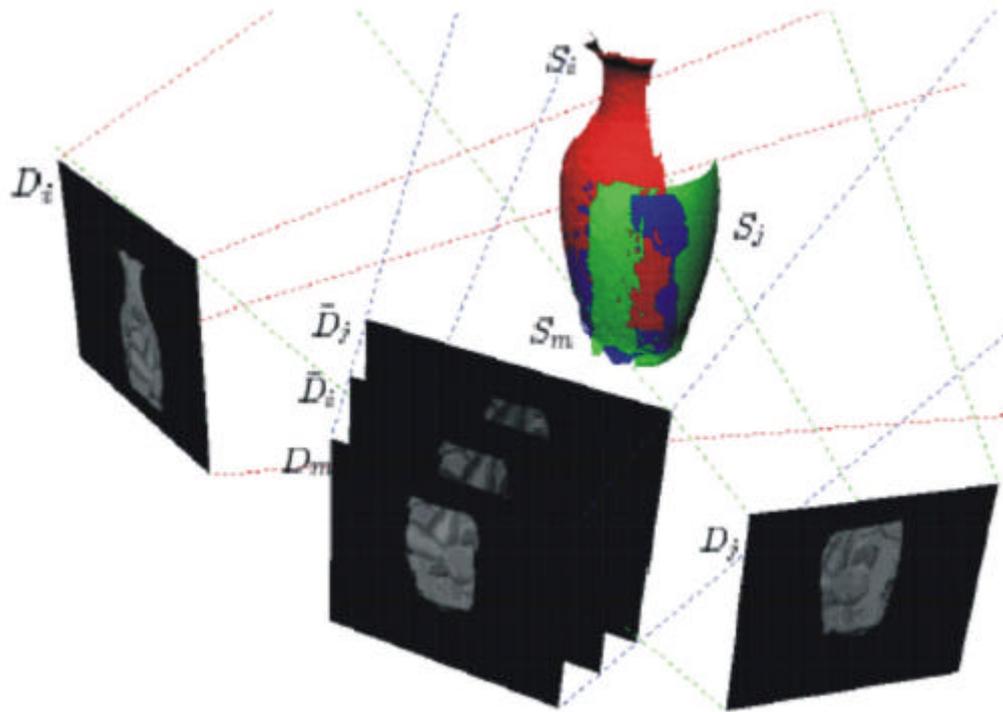


Abbildung 02

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

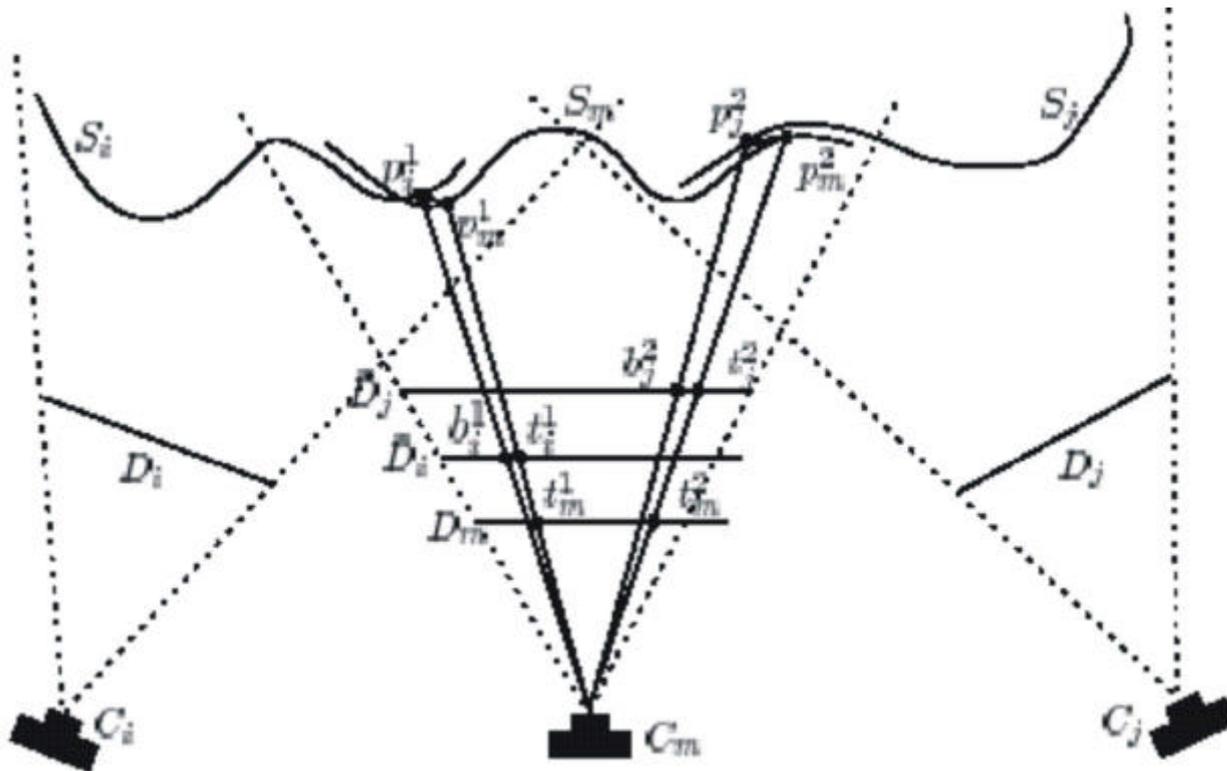


Abbildung 03

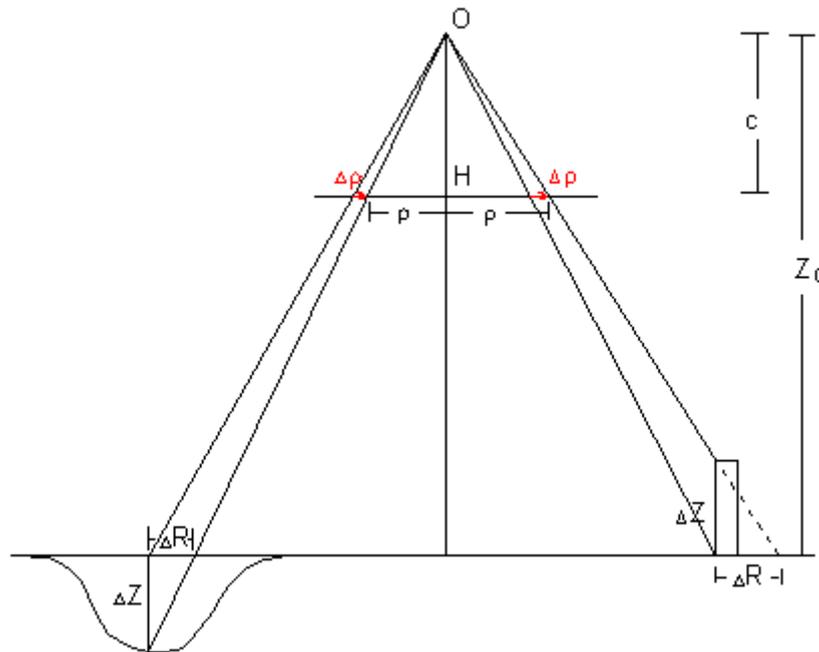
- 3 Abtastungen  $S_i$ ,  $S_j$  und  $S_m$  mit den jeweiligen Detailabbildungen  $D_i$ ,  $D_j$  und  $D_m$
- Kameras sind  $C_i$ ,  $C_j$  und  $C_m$
- zur besseren Ausrichtung wurden  $S_i$  und  $S_j$  als fest belassen
- $S_m$  beweglich mit Beziehung zu  $S_i$  und  $S_j$

## 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

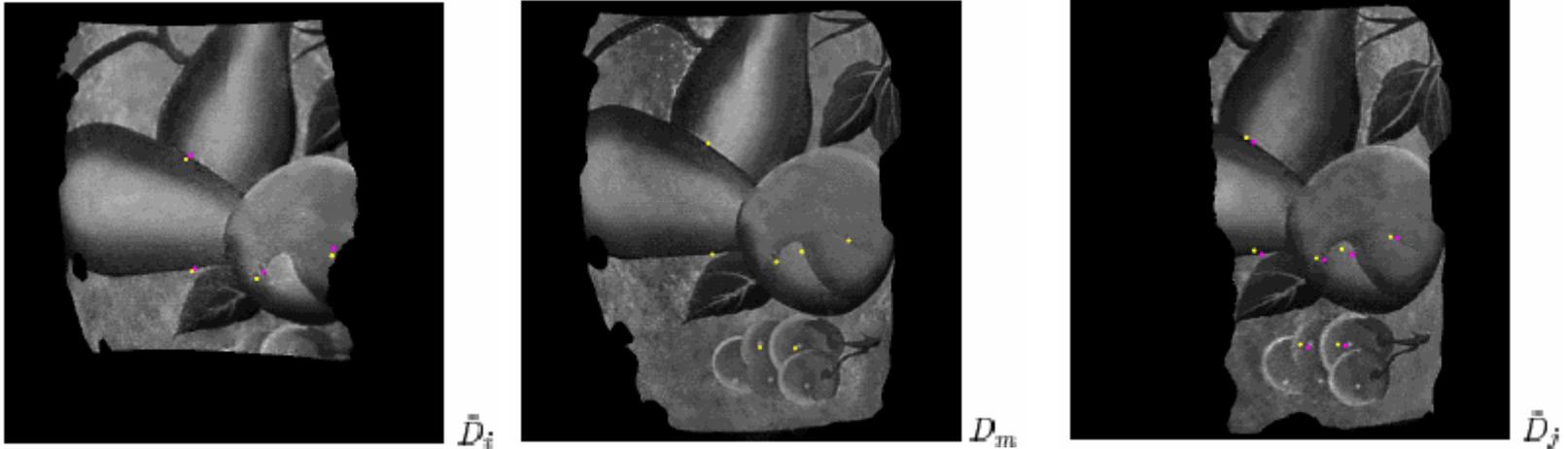
Ein Problem ergibt sich dadurch, dass Objektpunkte, die außerhalb der angenommenen Bezugsebene liegen, im Bild in Richtung des Bildhauptpunktes versetzt abgebildet werden, das heißt das es durch Tiefen und Erhöhungen zu einer fehlenden Übereinstimmung kommt. Des Weiteren kann es zu Fehlern bei der Überlappung 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( $m, C_m$ )

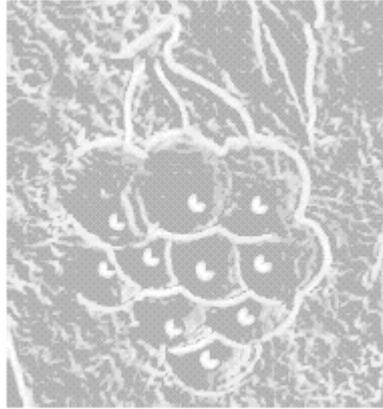
Procedure register\_scan( $m, C_m$ )

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)

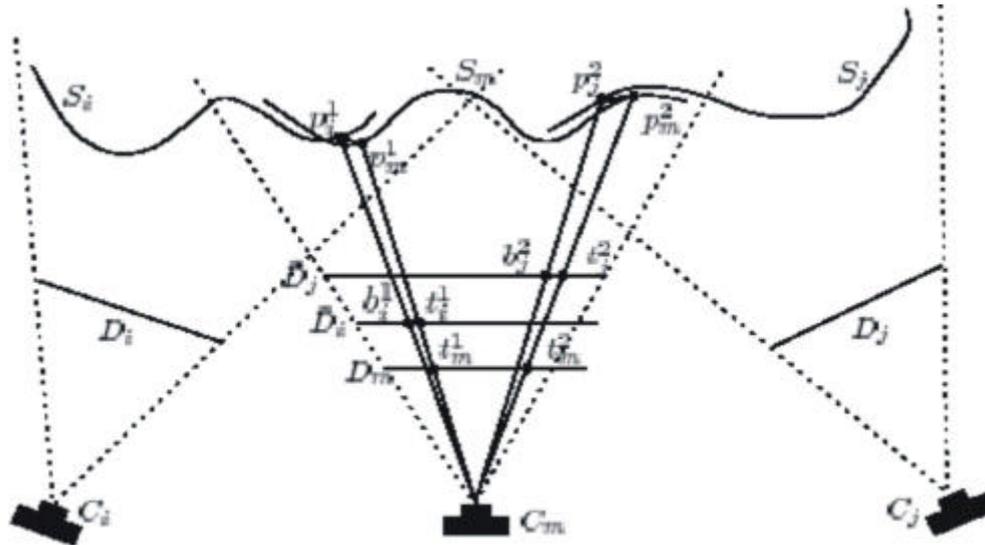
Sobel Operator (Gradientenfilter):

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.



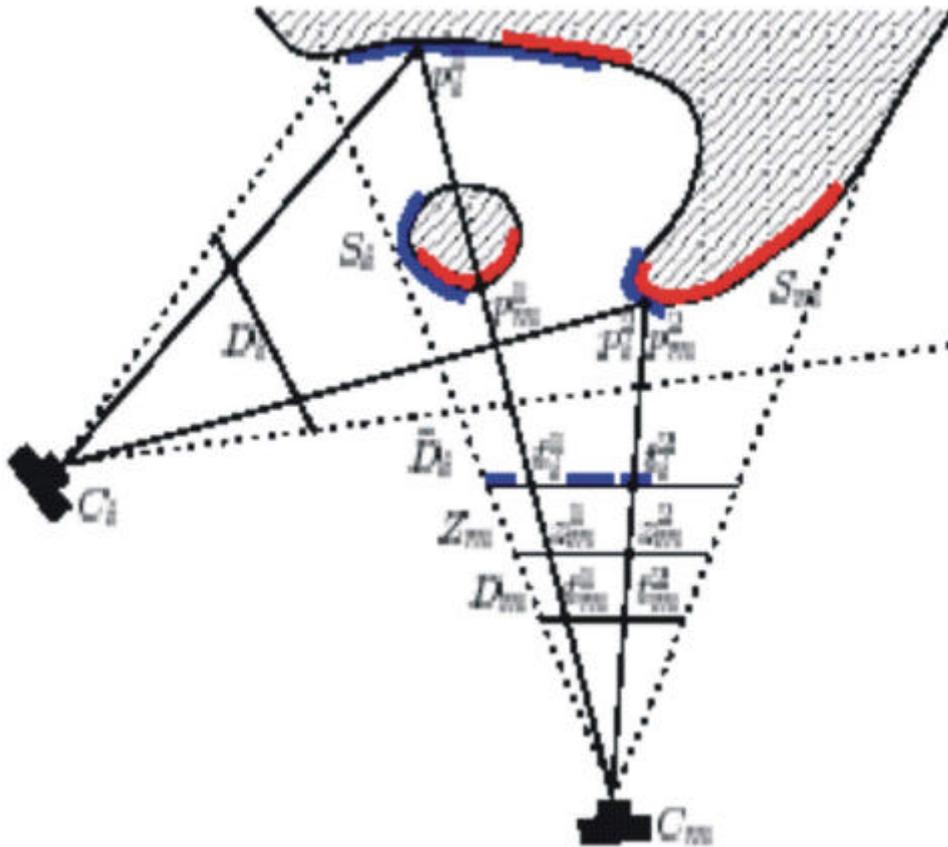
Vergleich von 2 Detailabbildungen  $D_m$  und  $D_i$

→ 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

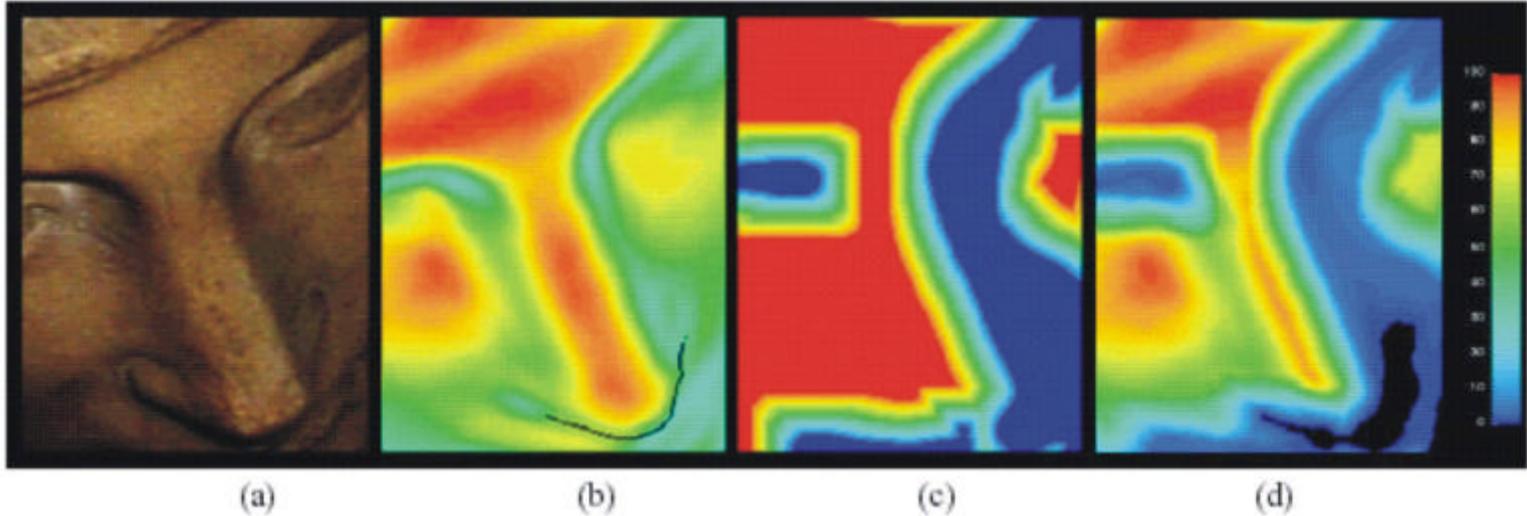
Die Abbildung zwischen Geometrietexturen und korrespondierenden Texturen wird als orthogonale Projektion bezeichnet

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

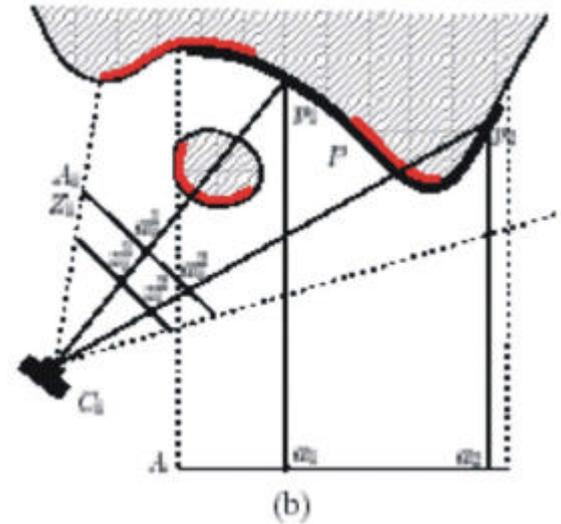
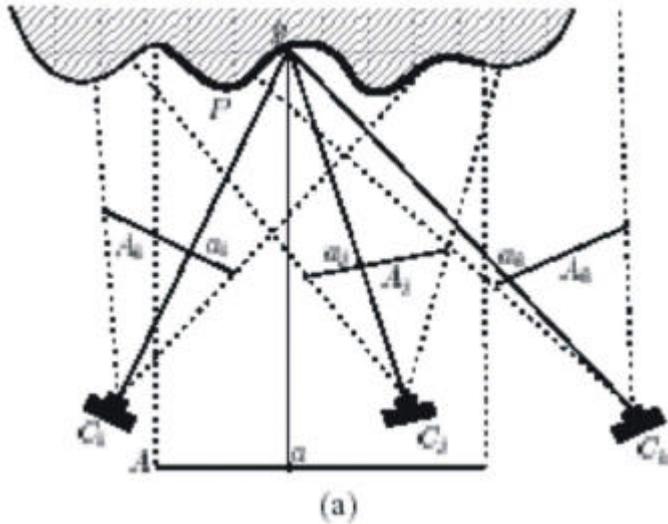
## Berechnung von Gewichtungskarten



- (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

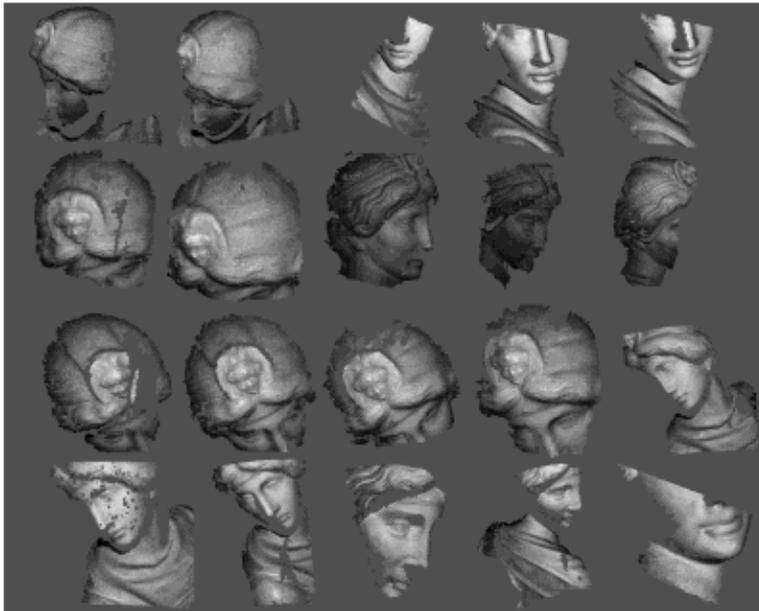
## Ergebnis (3)



(a)



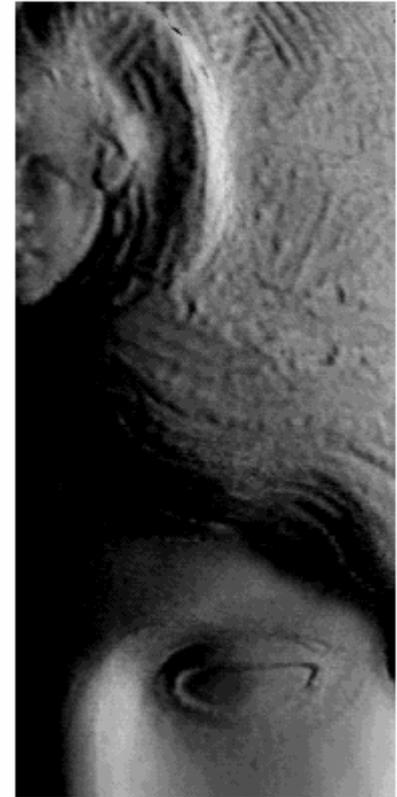
(b)



(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](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