

Grundlagen der 3D-Bilderfassung

Einsteigerworkshop

4.11.17

Theoretische Grundlagen

Ziel des Workshops

Optische Erfassung
eines
dreidimensionalen Modells
und
Vorbereitung zur materiellen Erstellung

Lernziele

- Wir kennen die Begriffe: Bilderfassung, -erkennung, -bearbeitung, -verarbeitung
- Wir kennen den Unterschied zwischen aktiver und passiver berührungsloser 3D-Erfassungsmethode
- Wir kennen den Begriff Laufzeitmessung, Phasenverschiebung und Streifenlichtverfahren
- Wir kennen den Begriff „Bildtriangulation“ und die mathematische Merkmalsextraktion „SHIFT“
- Wir kennen die Dichtezuordnung, Dichtepunktwolke und MESH
- Wir kennen die gängigen Softwaretools für die Erstellung von Punktwolken
- Wir kennen die Parameter einer Digitalkamera zur Bilderfassung
- Wir haben selbstständig ein Modell erfasst und ein MESH modelliert

Inhalt

- Darstellung des Gesamtprozesses der Bilderfassung über Scanner oder Fotokamera bis zum 3D Modell
- Theoretische Grundlagen der aktiven und passiven berührungslosen 3D-Erfassungsmethoden
 - Triangulation
 - SHIFT
 - Dichtepunktwolke
- aktiv: Beschreibung von *Nextengine HD 3D-Scanner* und *Kinect-Kamera*
 - Kamera fest -> Objekt wird bewegt***
- passiv: Photogrammetrie mit Digitalkamera
 - Objekt fest -> wird bewegt Kamera***
- Praktische Anwendung min. einer Methode zur selbstständigen Bilderfassung

Definitionen

- Bilderfassung
- Bilderkennung
- Bildbearbeitung
- Bildverarbeitung

Ziel: 3D-Objekt wird materialisiert

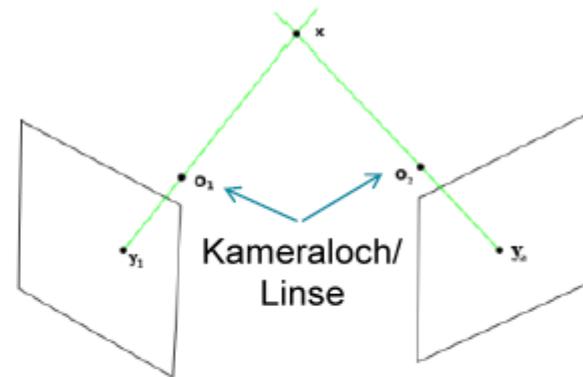
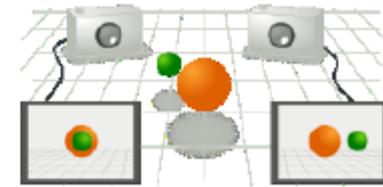
Workflow der Digitalen Bildverarbeitung

- Bilderzeugung
aktiv - passiv
- Bildvorverarbeitung
- Bildanalyse
- Bildauswertung

Aktive und passive berührungslose 3D-Erfassungsmethoden

Photogrammetrische Erzeugung von Punktwolken

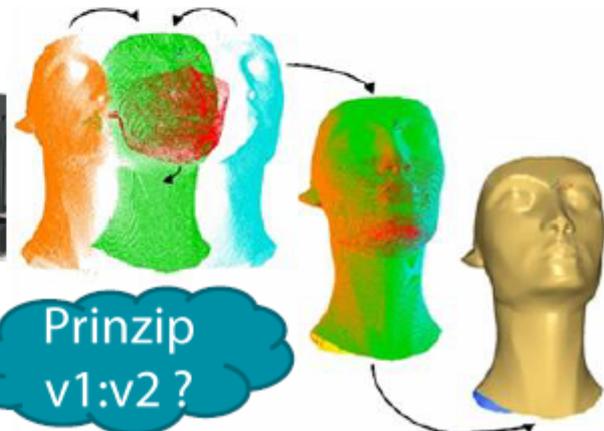
- Punktwolken werden aus Foto-/Videoaufnahmen generiert durch Tiefenschätzverfahren
 1. Stereophotogrammetrie: Ähnlich zum visuellen System werden aus zwei Teilbildern Tiefeninformationen gewonnen
 2. Tiefenbildtechnik: Time-of-Flight-Kameras messen direkt Photonlaufzeiten (Abstände)



Microsoft Kinect v1 / Asus Xtion

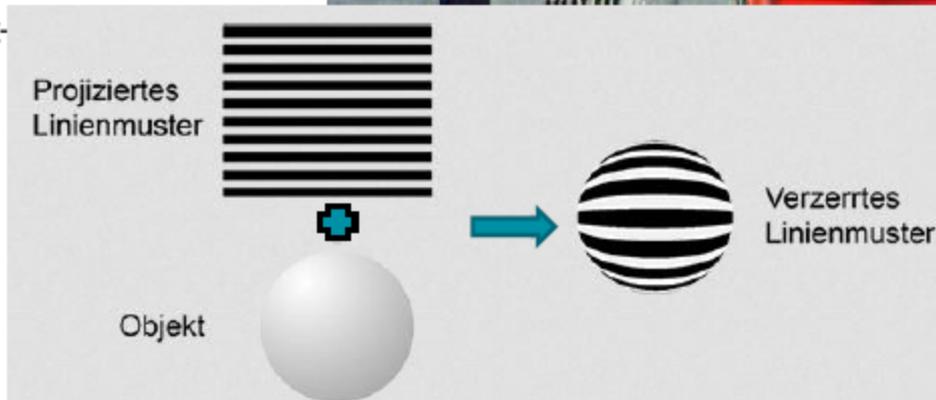


Microsoft Kinect v2



1. Streifenlichtverfahren (Punktkorrespondenz)

- Nicht nur für einen Punkt soll die Tiefe bestimmt werden, sondern für ganze Flächenbereiche
 - Projektion von Mustern deren Geometrie bekannt ist (einfache Lichtmusterprojektion)
 - Ungenau, preisgünstig
 - Microsoft Kinect (**v1**) projiziert unsichtbare Infrarotlichtstreifenmuster
 - Projektion von Interferenzmustern durch zwei monochromatische und polarisierte Lichtquellen (Laser)
 - genauer, teurer
 - Nachverarbeitung der Punktwolken notwendig!



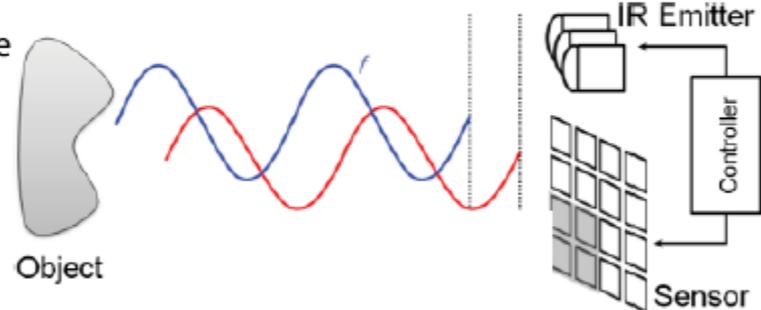
2. Tiefenbildcameras (Time-of-Flight, ToF)

- Gemessen wird Laufzeit (vgl. Ultraschall):

- Was: Direkt Tiefe D von ausgehend von Kamera (c : Lichtgeschwindigkeit, t : Zeit):
- Wie: Reflexionsprinzip: PMD-Sensorkamera misst Zeit von phasenmodulierten Lichtimpulsen aus Lichtquelle zurück bis zur Kamera
- Warum:

- Weniger Platzbedarf v Stereosysteme
- Keine (ungenau) Triangulation
- Direktes Messprinzip, ist genauer
- Keine beweglichen Teile (Kameras)

$$D = \frac{c}{2} \cdot \Delta t$$



- Anwendungen Tiefenbilder:

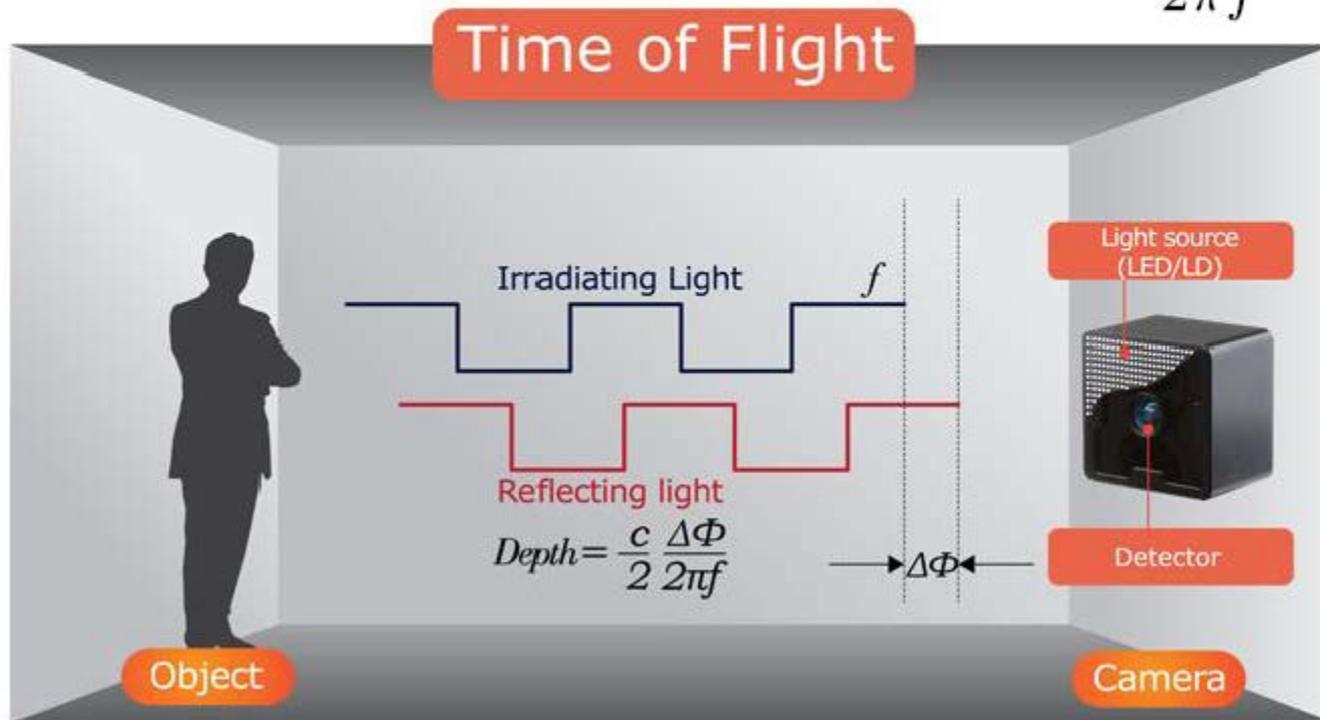
- Körperstellungserkennung (statisch)
- Gestenerkennung (dynamisch)
- Atemtiefendetektion im Oberkörperbereich
- Patientenpositionierung, -registrierung

- Microsoft Kinect **v2** verwendet ToF

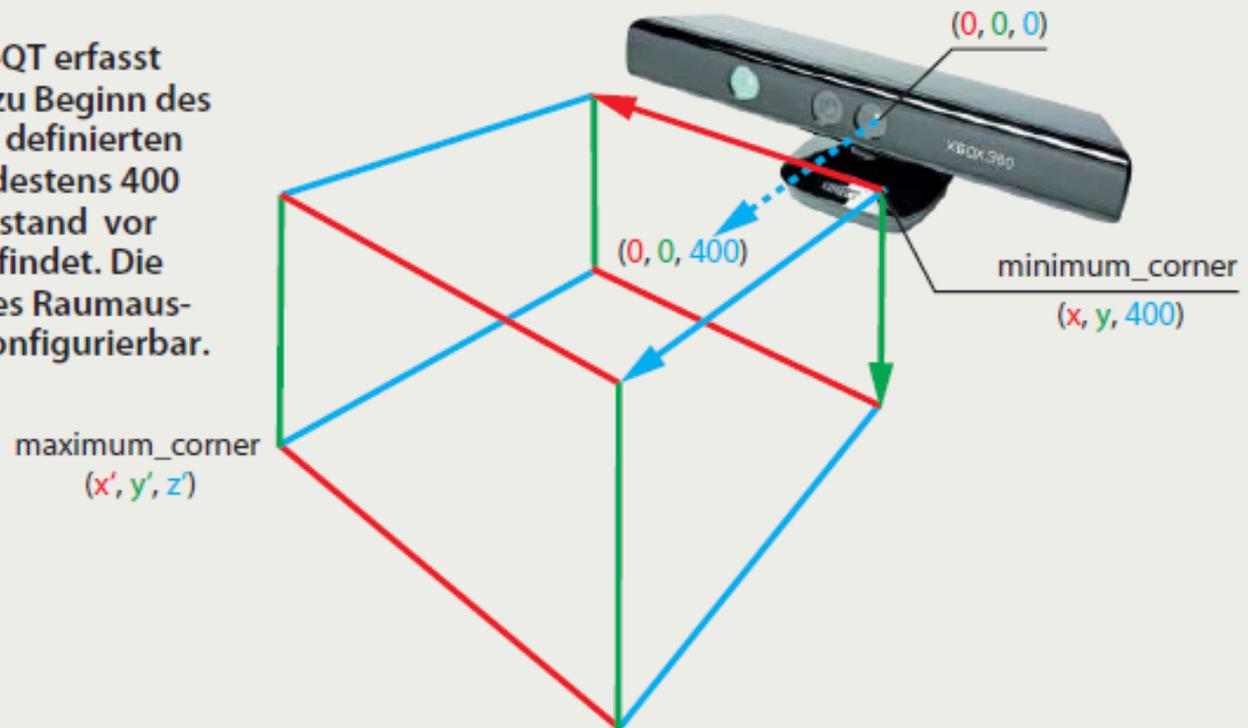


Phasenverschiebung

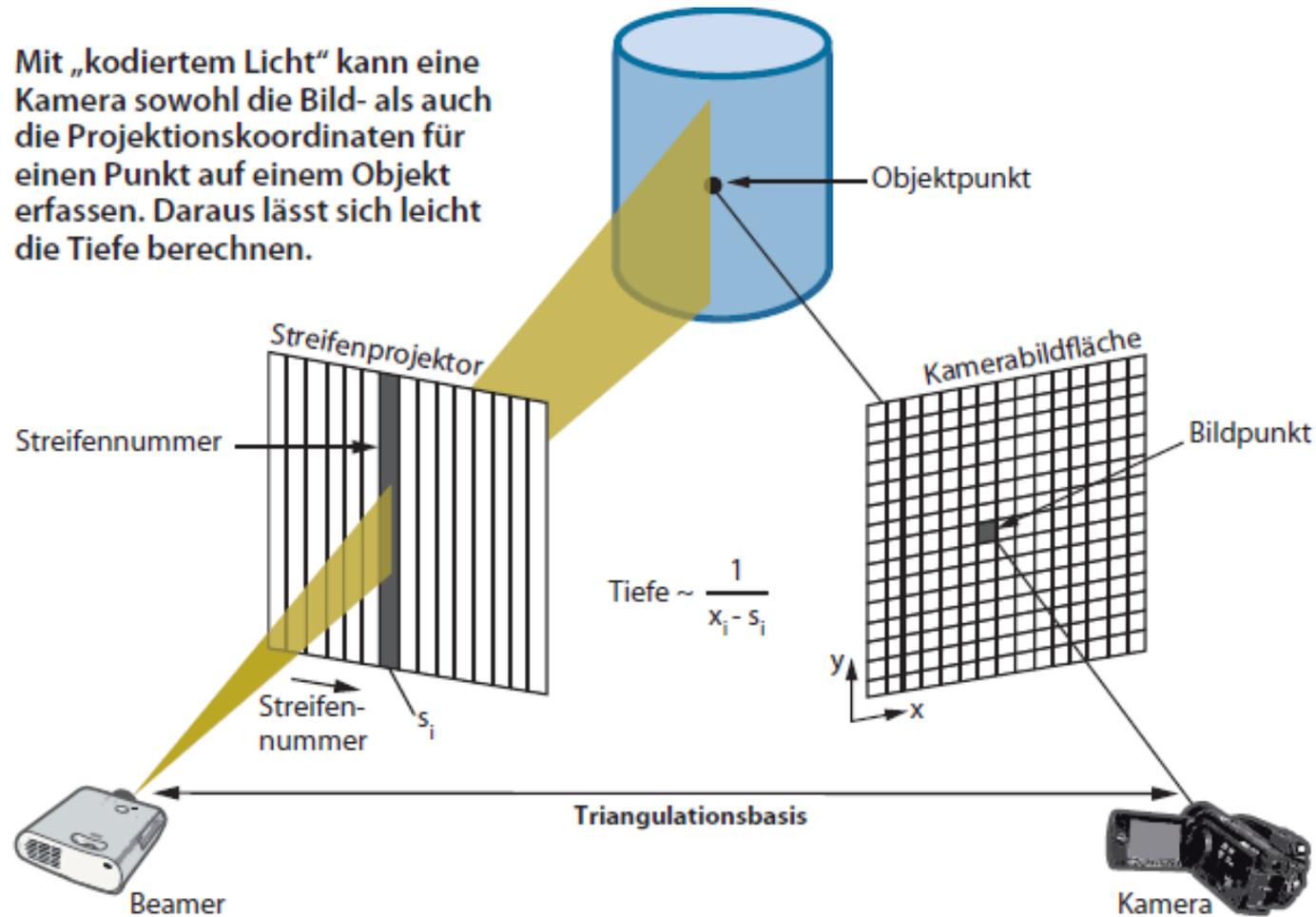
- Da die Lichtgeschwindigkeit sehr hoch ist, äußert sich der Zeitunterschied als Phasenverschiebung: $\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{2\pi f}$



ReconstructMeQT erfasst alles, was sich zu Beginn des Scans in einem definierten Quader in mindestens 400 Millimetern Abstand vor dem Sensor befindet. Die Koordinaten des Raumausschnitts sind konfigurierbar.

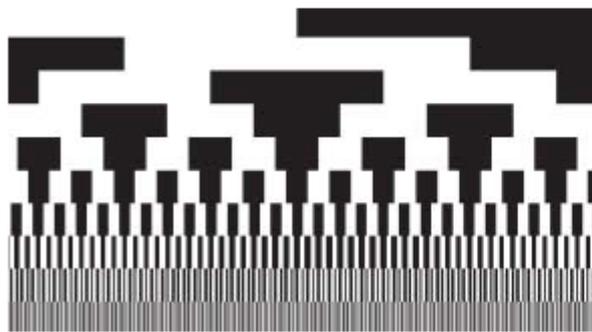


Mit „kodiertem Licht“ kann eine Kamera sowohl die Bild- als auch die Projektionskoordinaten für einen Punkt auf einem Objekt erfassen. Daraus lässt sich leicht die Tiefe berechnen.

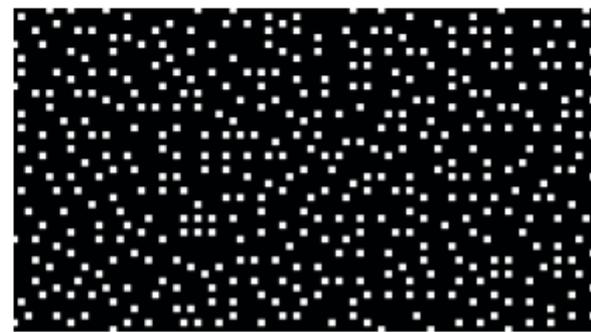




Die Kinect dient längst nicht mehr nur zur Bewegungssteuerung, sondern kommt zur Objekterfassung in der Robotik und als 3D-Scanner zum Einsatz. Der Asus-Kamera fehlt die Motorsteuerung, dafür ist sie kompakter und braucht kein zusätzliches Netzteil.



Beim „Coded Light“-Verfahren beleuchtet man das zu erfassende Objekt mit unterschiedlichen Hell-Dunkel-Streifenmustern (zeitliche Abfolge von oben nach unten).



Die von der Kinect ausgesendeten Muster sind keineswegs zufällig. Aus dem Vergleich mit Referenzmustern lässt sich die Entfernung zu einem Objekt berechnen.

Next Engine Scan Studio

4 Laser (650nm, 7 optische Sensoren)

Makro: 0.127 mm Genauigkeit,

Dichte: 268K points/inch, Scanfeldgröße: 7,62 x 12,7 cm

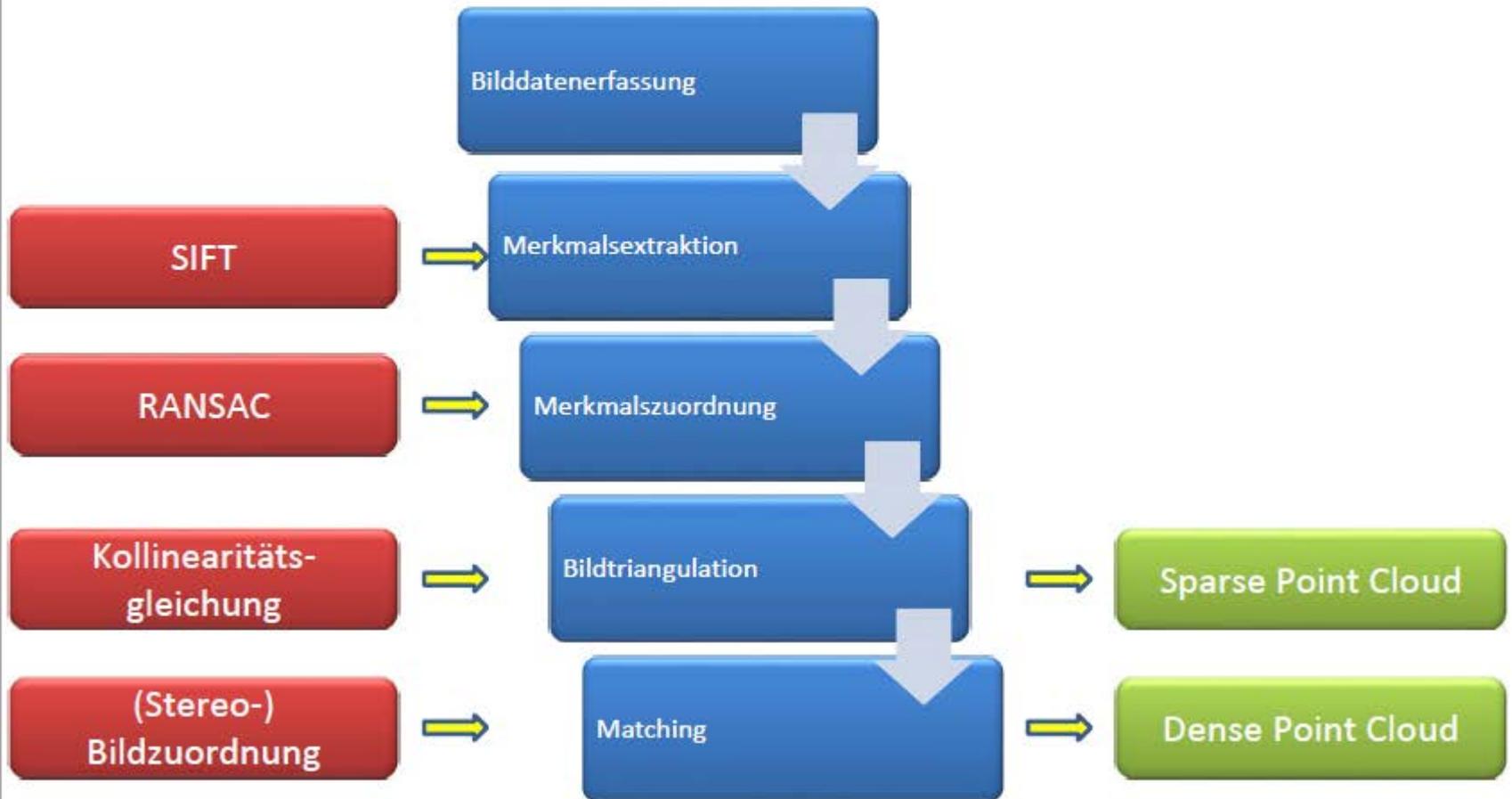
Entfernung des Objektes 16,5 cm



Workflow Photogrammetrie

Bilddatenerfassung
Merkmalsextraktion
Merkmalszuordnung
Bildtriangulation
Matching

Grundlagen - Workflow



Grundlagen



Bilddatenerfassung

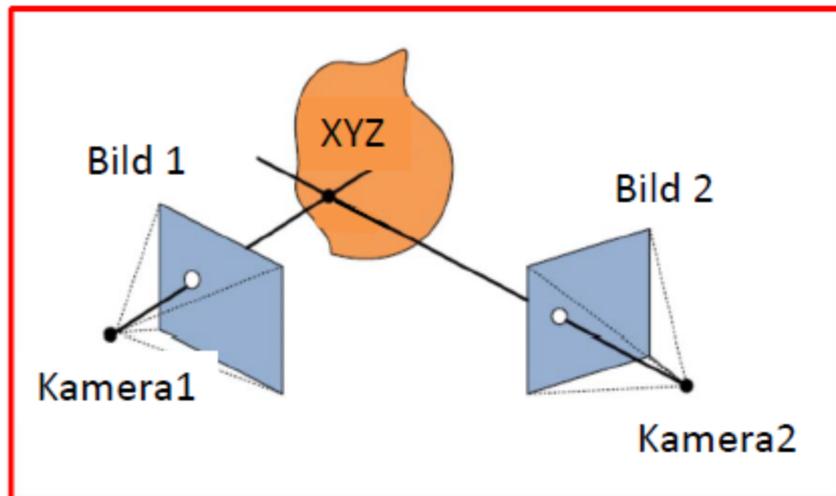


Grundlagen



- In der Photogrammetrie wird die 3D-Geometrie durch das Erstellen von Bildern desselben Objekts aus verschiedenen Positionen erhalten.
- Dies macht einen einzigen Punkt auf dem Objekt sichtbar als Pixel in mehreren Bildern.
- Für jedes Bild kann eine gerade Linie aus dem Kamerazentrum durch das Pixel im Bild gezogen werden.
- Diese Linien schneiden sich an einem Punkt, der die 3D-Position des Objektpunktes darstellt.

Grundlagen

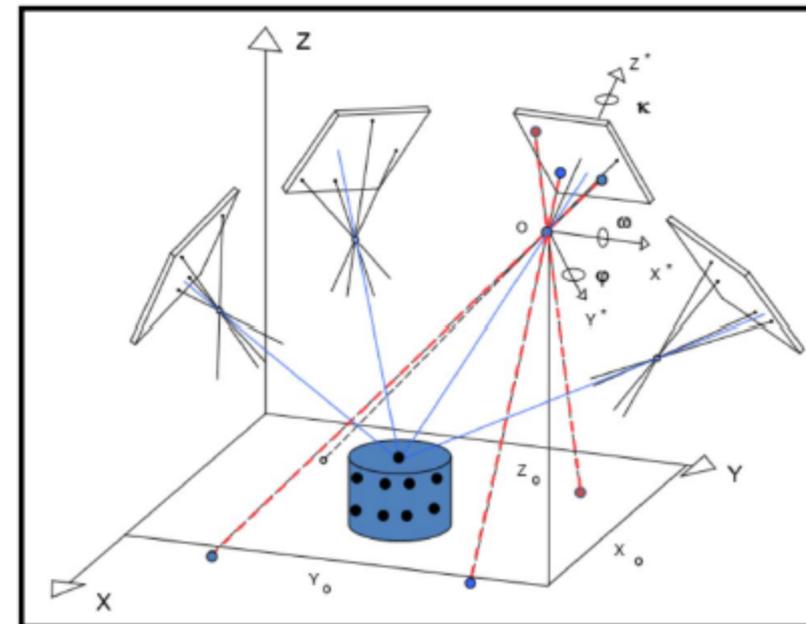


Kollinearitätsgleichung

$x' = f(\text{IORI, ÄORI, OBJ-KOORD.})$

$y' = f(\text{IORI, ÄORI, OBJ-KOORD.})$

Zentralperspektive



Grundlagen



- Voraussetzung ist eine bekannte Innere und Äußere Orientierung jedes beteiligten Bildes.
- Zu diesem Zweck werden so genannte Verknüpfungspunkte verwendet, um alle Bilder miteinander zu verknüpfen.
- Jeder Verknüpfungspunkte ist ein gut erkennbarer Punkt, der in allen Bildern identifiziert wird, in denen er auftritt.
- Ausreichende Verknüpfungspunkte erlauben die Rekonstruktion der relativen Position aller Bilder.

Grundlagen

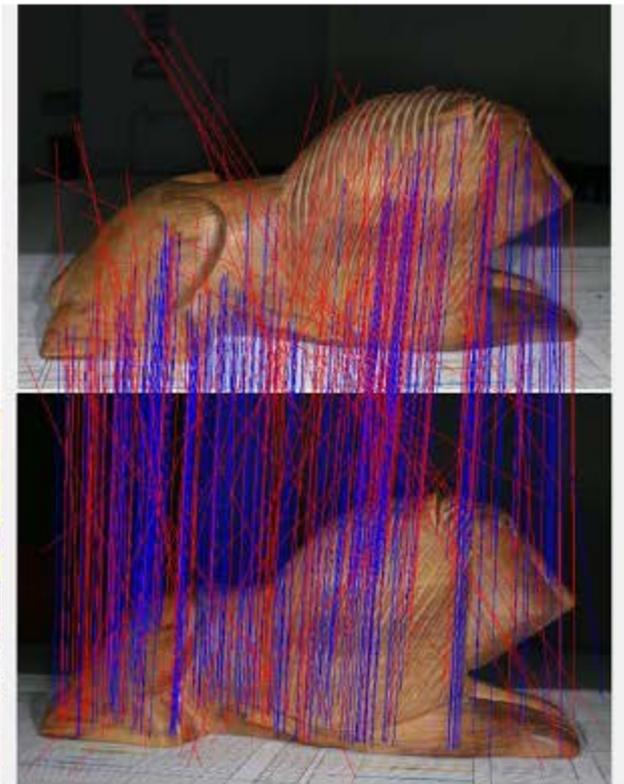


Merkmalsextraktion

...Bildtriangulation erfordert
Verknüpfungspunkte...



Quelle: <http://robwhess.github.io/opensift/>



SIFT-Algorithmus



- Algorithmus zur Extraktion lokaler Bildmerkmale:

„Scale-Invariant Feature Transformation“

→ SIFT

(„Massstabsunabhängige Merkmalstransformation“)

- Wird vorrangig bei der Bildregistrierung/-zuordnung verwendet.

SIFT-Algorithmus



- Bilder werden im ersten Schritt mit einem Gauß-Filter geglättet, um sie vom Bildrauschen zu bereinigen.
- Das Bild wird danach in lokale Merkmalspunkte unterteilt, die unempfindlich gegen perspektivische Verzerrung sind.
- Markant sind Objekte, deren Eigenschaften von ihrem Hintergrund abweichen.

SIFT-Algorithmus

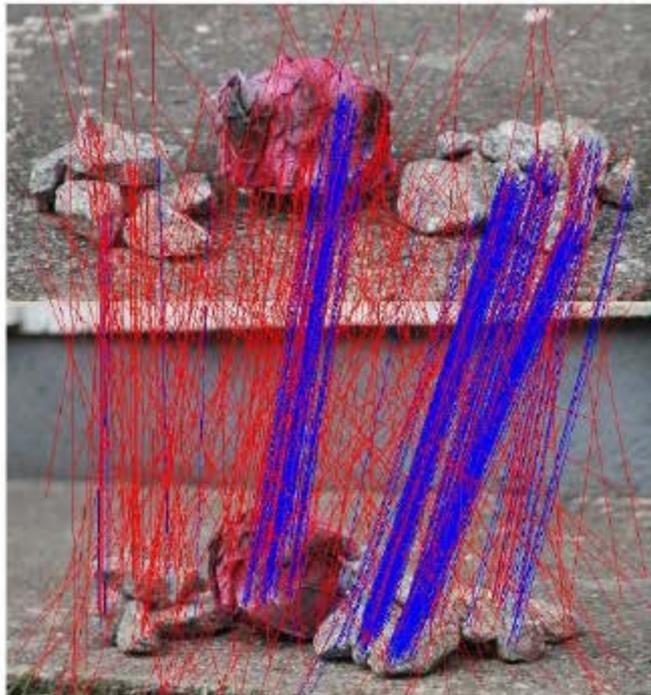


- Die extrahierten Merkmale sind unempfindlich gegenüber Koordinatentransformationen wie Translation, Rotation und Skalierung.
- Sie sind außerdem robust gegen Beleuchtungsvariation, Bildrauschen und geringere geometrische Deformation höherer Ordnung, wie zum Beispiel durch projektive Abbildung verursacht.

RANSAC-Algorithmus



Merkmalszuordnung

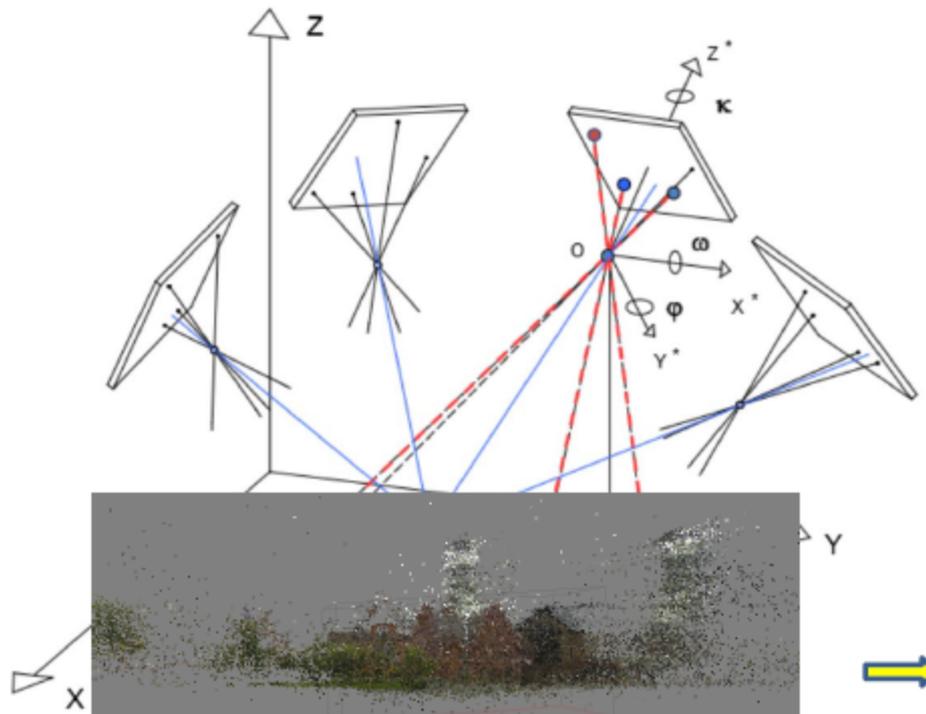


- Rote Linien: ungültige Zuordnungen
- Blaue Linien: gültige Verknüpfungen zwischen dem Bildpaar

Bündelblockausgleichung



Bildtriangulation



Unbekannte

- Innere Orientierung
- Äußere Orientierung
- Objektkoordinaten

Sparse Point Cloud

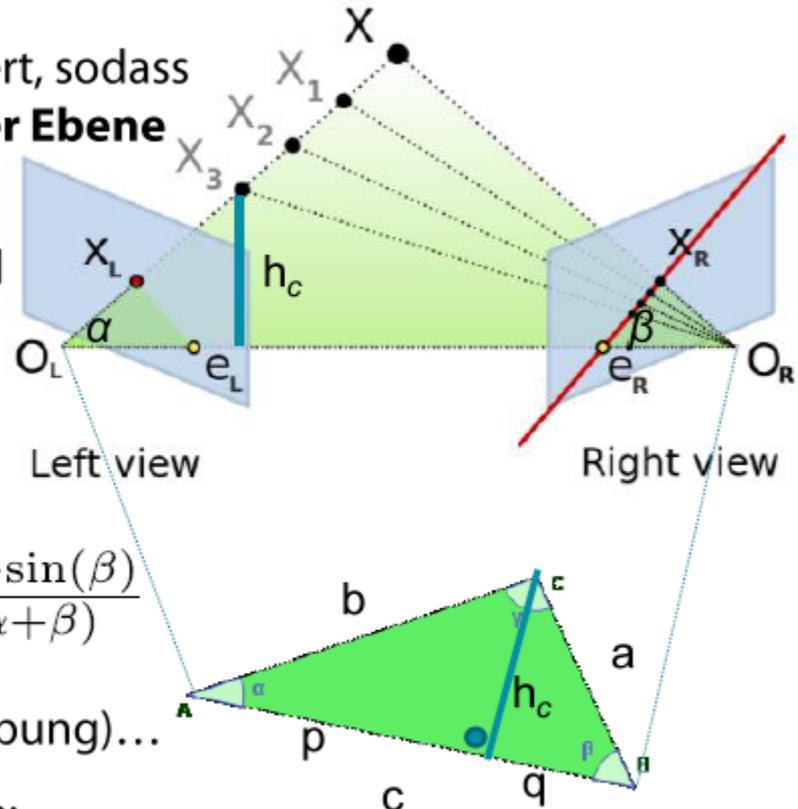
Grundprinzip Triangulation (epiplanarer Idealfall)

- Annahme: Kameras **exakt** justiert, sodass $X_L e_L$ und $X_R e_R$ (rote Line) **in einer Ebene** liegen (grün)
- Abstand $O_L O_R$ und beide Winkel α und β bekannt
- Anwendung trigonometrischer Sätze ergibt:

$$h_c = |O_L - O_R| \cdot \frac{\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)}$$

- p und q einfach mit Tangens (Übung)...
- Vgl. Augenprinzip: unterscheide:

Disparations- vs. **Triangulationsprinzip** zur Tiefenabschätzung ⁵



Resultat der Triangulation



Bündeltriangulation



Dense Image Matching (Dichte Bildzuordnung)



- Aus rechnerischer Sicht kann dies mit einer einfachen Perspektivumwandlung erreicht werden.
- Für das menschliche Auge können die resultierenden Bilder stark verzerrt erscheinen



Dense Image Matching



Matching

Dense Point Cloud



3D-Vermaschung



Texturierung



DIM-Systeme



Das Angebot an Systemen zum Dense Image Matching ist umfangreich und wächst stetig weiter!

- Bundler / PMVS 2 (Cornell University)
- MicMac (IGN Paris)
- SURE (Uni Stuttgart)
- Photomodeler Scanner (EOS Systems)
- 123D Catch (Autodesk)
- Pix4DMapper (Pix4D)
- Photoscan (Agisoft)