Stereo-Matching

Medieninformatik IL

Andreas Unterweger

Vertiefung Medieninformatik
Studiengang ITS
FH Salzburg

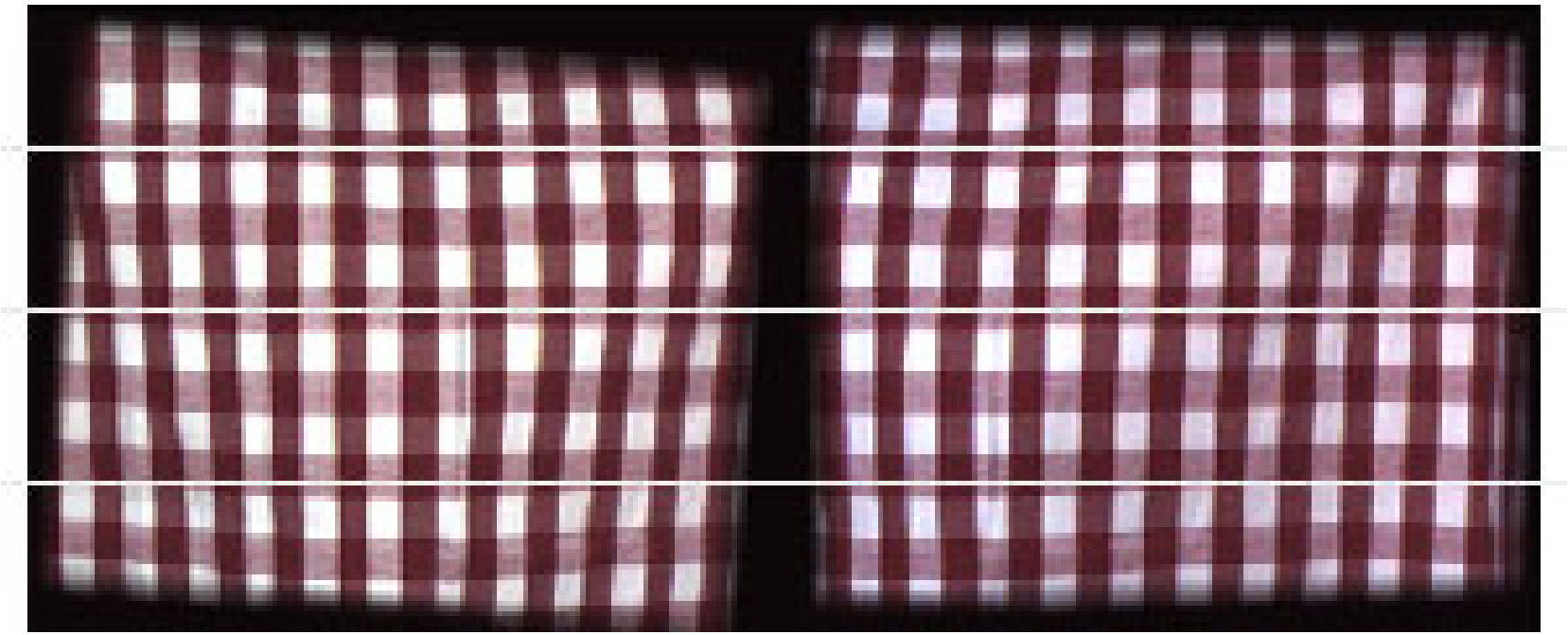
Wintersemester 2016/17

Das Korrespondenzproblem I

- Disparität lässt sich aus Punktkorrespondenzen bestimmen

→ Punktkorrespondenzen (Übereinstimmungen) finden (engl. *Matching*)

- Korrespondenzproblem: Zuordnung nicht eindeutig möglich

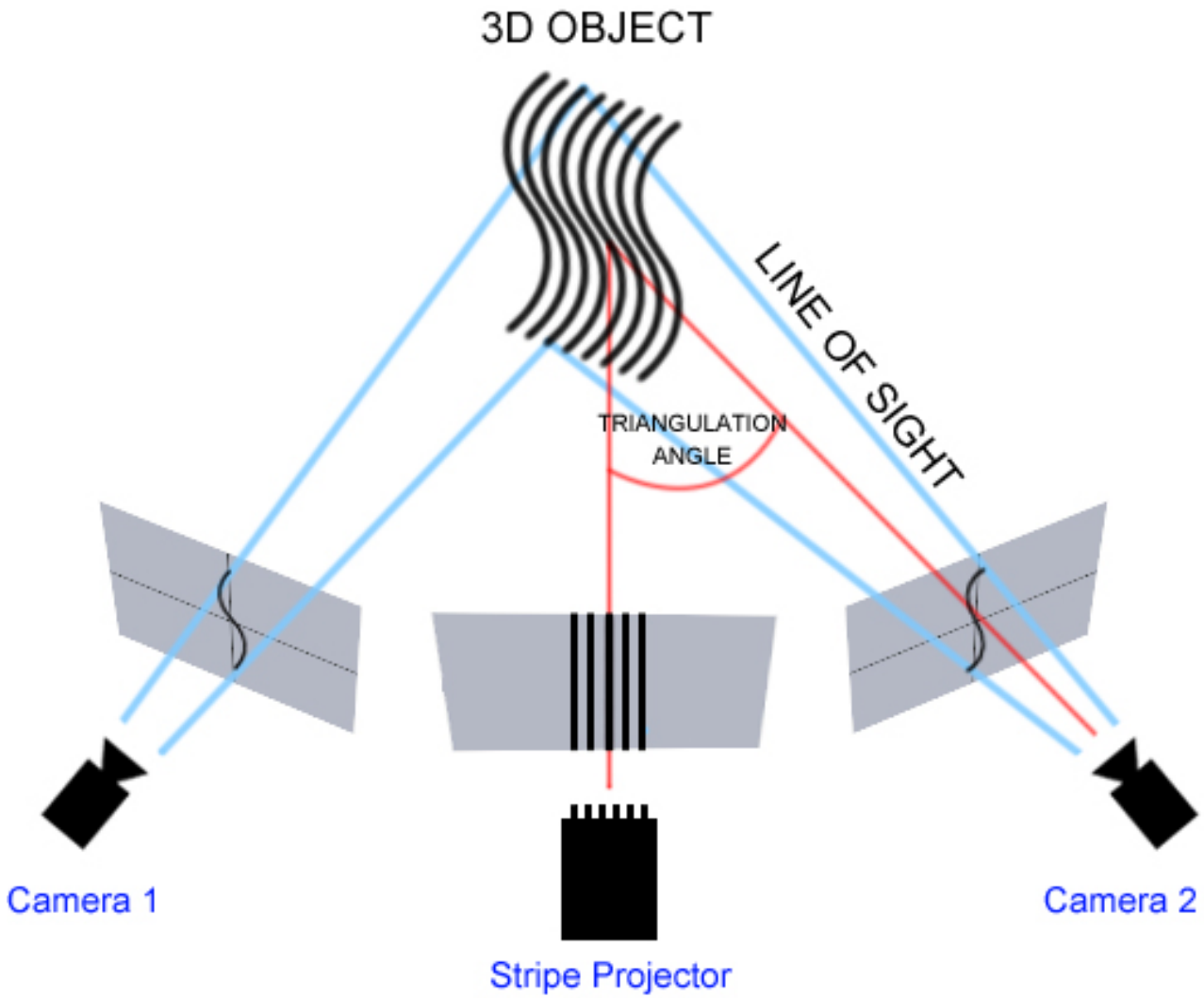


Quelle: Du, H., Zou, D. und Chen, Y. Q.: Relative Epipolar Motion of Tracked Features for Correspondence in Binocular Stereo. `https://homes.cs.washington.edu/~duhao/Projects/REM/REMwebsite.html` (16.8.2014), 2007.

Das Korrespondenzproblem II

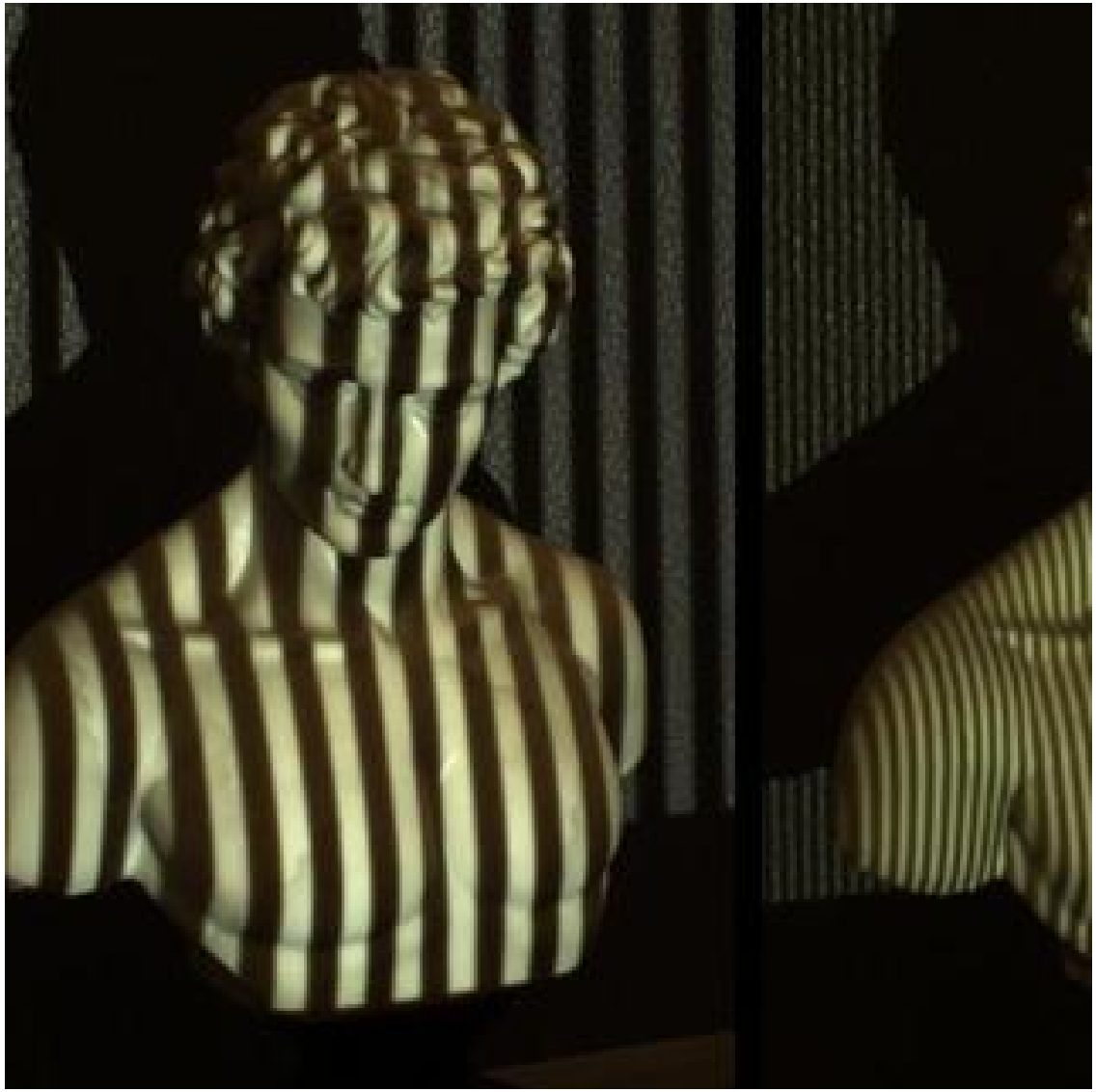
- Ursachen des Korrespondenzproblems
  - Verdeckungen (*engl. occlusions*): Punkt nur in einer der Kameras sichtbar (blickwinkelabhängig)
  - Sich wiederholende Muster (auch plane Flächen und Kanten)
  - Praktisch: Bildfehler und Rauschen
  - Praktisch: Asynchrone Aufnahmen bei zeitlicher Änderung des aufgenommenen Punktes
- Praktische Lösung: Strukturiertes Licht (engl. *structured light*)
  - Zusätzlich Abfolge von vordefinierten, verschiedenen Lichtstreifenmustern (meist unsichtbar im Infrarotbereich) projizieren
  - Objekte verformen je nach Abstand das Muster
  - Tiefe kann durch Triangulation aus Musterverformungen bestimmt werden (ohne Details)
  - Nachteile: Relativ hohe Kosten, hoher Implementierungsaufwand und Genauigkeitsprobleme durch Rauschen

Einschub: Strukturiertes Licht I



Adaptiert von: Clemson University: 3D Scanning and Analysis. http://www.clemson.edu/restoration/wlcc/equipment_services/equipment/3d_scanning_and_analysis.html (16.8.2014), 2014.

Einschub: Strukturiertes Licht II



Quelle: `http://www.instructables.com/files/deriv/FMA/K94O/G3KYBTX1/FMAK94OG3KYBTX1.SQUARE3.jpg`

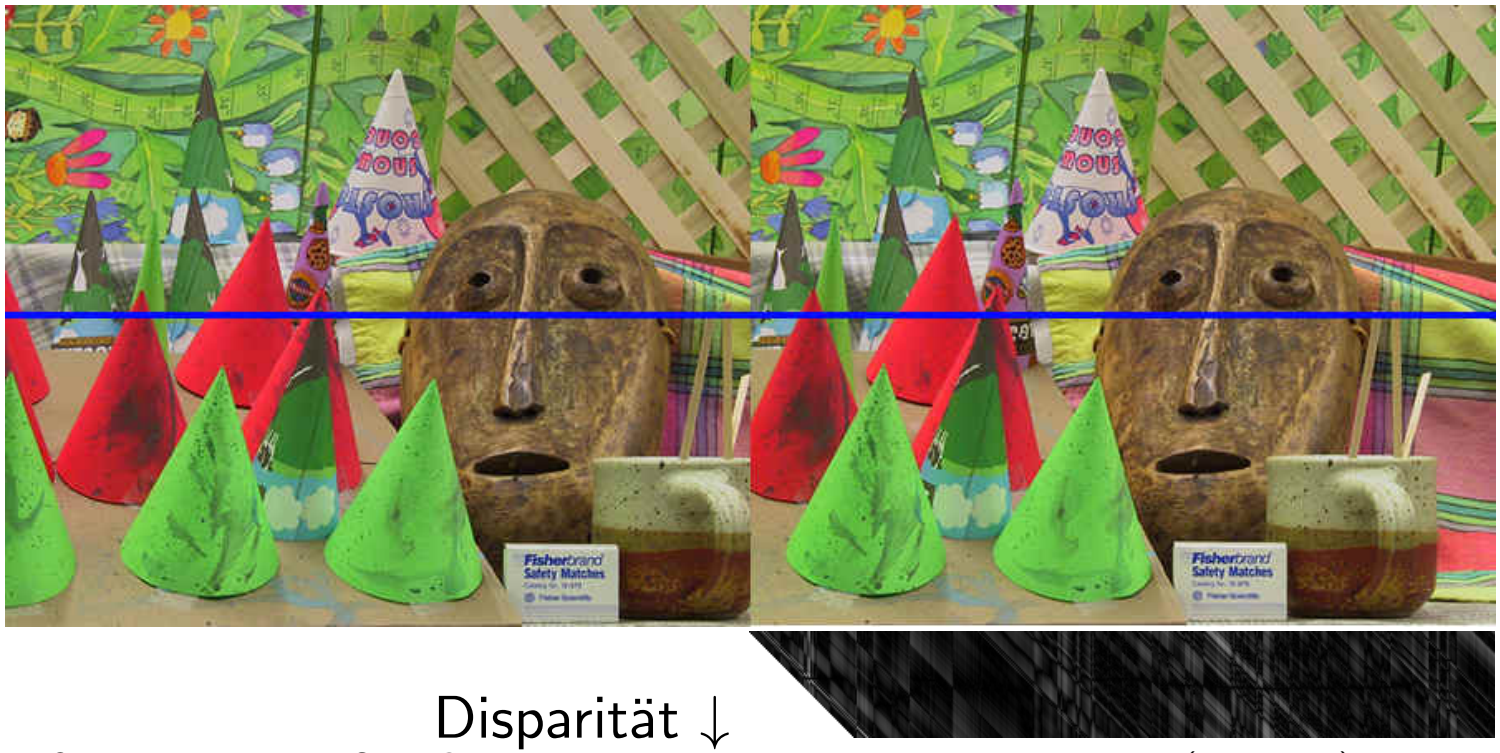
Stereo-Matching-Methoden[1]

- Hauptanwendung: 3-D-Rekonstruktion (über Disparitätsberechnung)
- Typische Schritte:
  - Suche (ähnlich wie Motion Estimation)
  - Trefferwahrscheinlichkeitsermittlung (Kostenfunktion)
  - Berechnung des Disparitätsbildes
  - Verfeinerung des Disparitätsbildes
- Taxonomie (Arten von Matching-Methoden):
  - Lokal: Disparität eines Pixels hängt nur von der Disparität seiner Nachbarn innerhalb eines Fensters ab
  - Global: Disparitäten aller Pixel werden gemeinsam betrachtet (Kostenminimierung über das gesamte Disparitätsbild)
  - **Semi-global: Lokale Berechnung mit globaler Optimierung**

[1] Adaptiert von Scharstein, D. und Szeliski, R.: A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. International Journal of Computer Vision, vol. 47, no. 1–3, pp. 7–42, 2002.

Semi-globales Stereo-Matching[2] I

1. Kosten aller möglichen Disparitäten für alle Pixel entlang der Epipolarlinie (innerhalb eines Fensters) berechnen (hell = teuer)



Disparität ↓

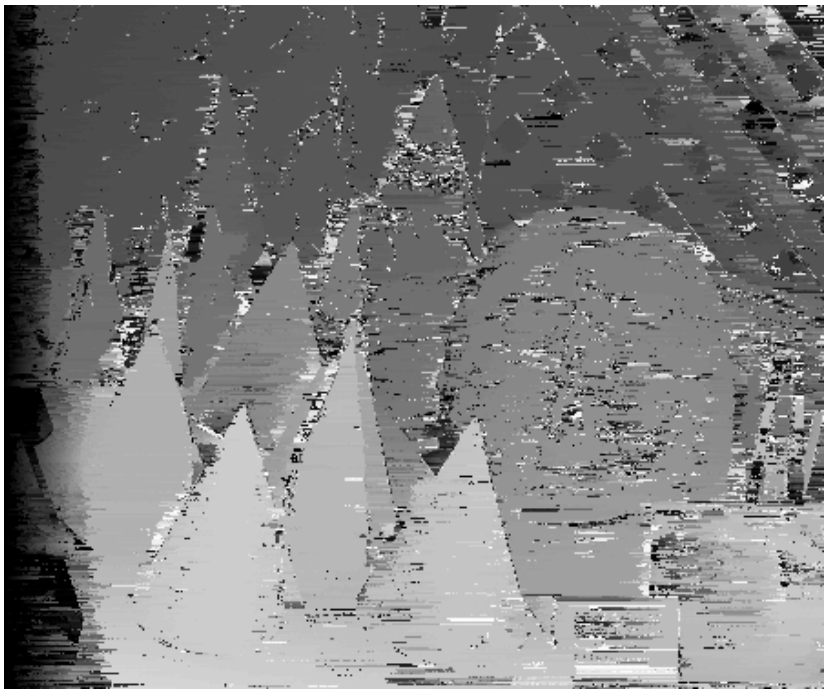
Quelle: Morrato, Z.: Semi-Global Matching. `http://lunokhod.org/?p=1356` (16.8.2014), 2013.

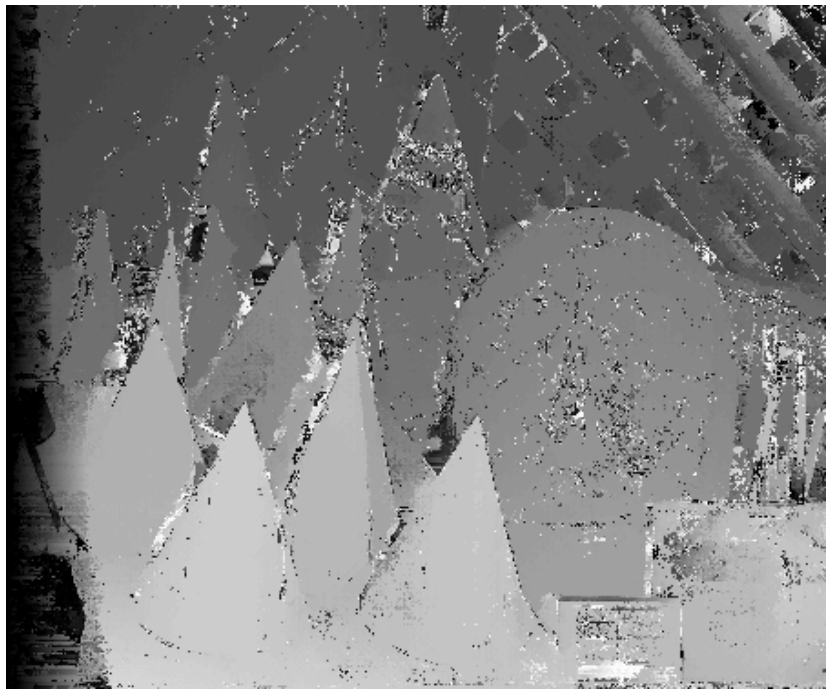
[2] Vereinfacht nach Hirschmüller, H.: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 2, 2008.

Semi-globales Stereo-Matching II

2. Pfad mit den niedrigsten Gesamtkosten finden (harte Übergänge, d.h. sprunghafte Disparitätswechsel, „kosten extra“) – **näherungsweise**
3. Globale Glättung und Filterung von Ausreißern (engl. *speckles*)

- Zu beachten: Epipolarlinien müssen horizontal ausgerichtet sein (Implementierung einfacher, schneller und ohne Interpolation möglich)

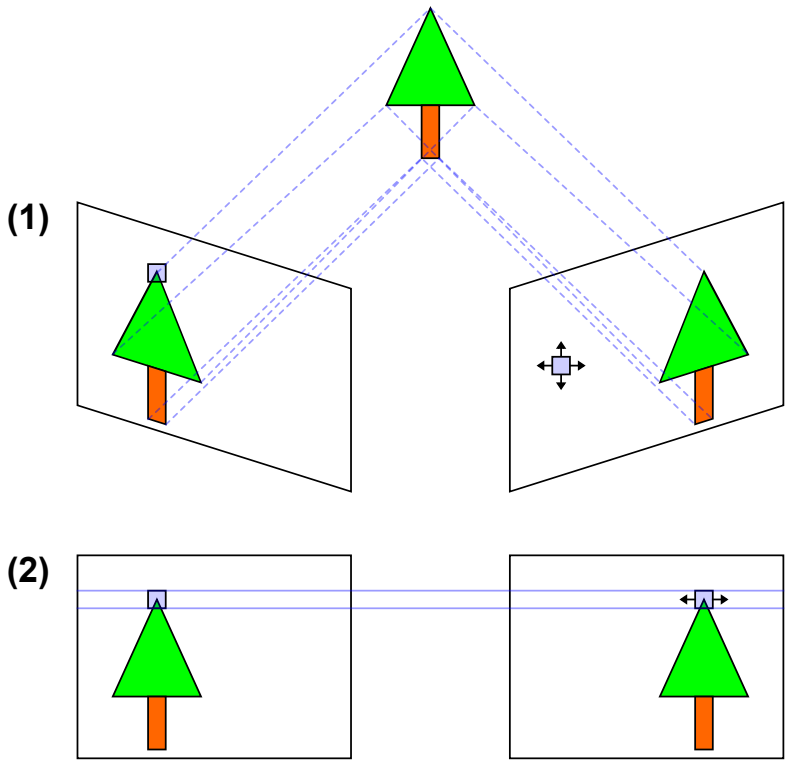




Quelle: Morrato, Z.: Semi-Global Matching. `http://lunokhod.org/?p=1356` (16.8.2014), 2013.

Rektifizierung

- Ziel: Epipolarlinien horizontal ausrichten
- Vorgehensweise: Bildebenen so rotieren, dass sie koplanar liegen
- Nachteil: Benötigt Informationen zu Kameraposen und Kameraparametern $\rightarrow$ Kamerakalibrierung und Stereokalibrierung



Quelle: `http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Image_rectification.svg`

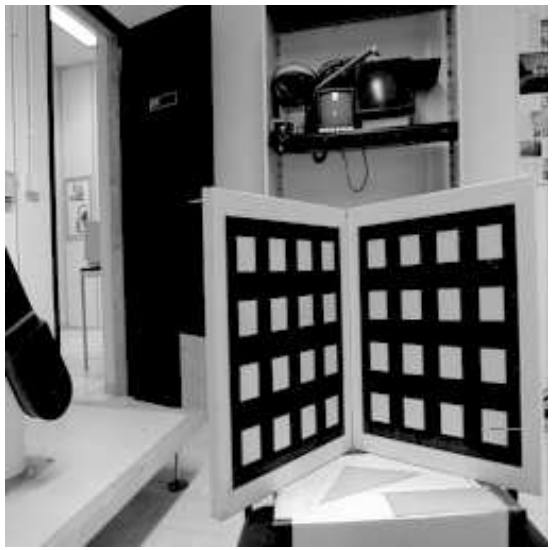
Überblick Kamerakalibrierung

- Definition Kalibrierung: (Genäherte) Transformation finden, die das Bild einer realen Kamera in das einer idealen Lochkamera verwandelt
- Bestandteile der Transformation:
  - Kameramatrix (intrinsische und extrinsische Kameraparameter)
  - Verzeichnungsvektor (je nach Verzeichnungsmodell)
- Ziele:
  - Quasi-ideale Bilder aus aufgenommenen berechnen
  - Kameraposition(en) über extrinsische Kameraparameter bestimmen
- Vorteile:
  - Einfachere Durchführung von Operationen auf quasi-idealen Bildern

  $\rightarrow$ Vereinfachung von Annahmen für weiterverarbeitende Algorithmen
  - Bekannte Kamerapositionen erlauben 3-D-Rekonstruktion

Kalibrierungsmethoden

- Arten der Kalibrierung:
  - Selbstkalibrierung (auch Autokalibrierung; ohne Kalibrierungsobjekt)
  - **Photogrammetrische Kalibrierung** (mit Kalibrierungsobjekt)
- Übliche Kalibrierungsobjekte (Auswahl)
  - Räumliche Rechteckmuster (3-D)
  - **Ebene Schachbrettmuster** (2-D)
  - Stäbe mit zumindest drei kollinearen kugelförmigen Objekten (1-D)



Quelle: Zhang, Z.: Camera Calibration. In Emerging Topics in Computer Vision, chapter 2, pp. 4–43, Prentice Hall Professional Technical Reference, 2004.

Wiederholung: Kameramatrix

$$M_I = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_E = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{pmatrix}$$

$$s \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \underbrace{M_I \cdot M_E}_{M} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ 1 \end{pmatrix}, s \in \mathbb{R} \backslash \{0\}$$

- $3 \cdot 4$-Matrix, aber nur bis auf einen Skalierungsfaktor s bestimmbar

$\rightarrow$ 11 Unbekannte (praktisch weniger durch Vereinfachungen)

Überblick 2-D-Kalibrierung

- Voraussetzung: Bekannte 3-D-Koordinaten (durch Kalibrierungsobjekt, in diesem Beispiel Schachbrettmuster)
- 2-D-Koordinaten können durch Methoden der Bildverarbeitung (z.B. Kantenerkennung) aus Bild ermittelt werden
- Punktkorrespondenzen (3-D zu 2-D) erlauben Bestimmung von M über lineares Gleichungssystem (Verzeichnung noch unberücksichtigt)
- Ohne Beweis: M lässt sich in M_I und M_E zerlegen (ohne Details)

$\rightarrow$ M_I und M_E ergeben sich indirekt aus dem Gleichungssystem

- Rauschen und Fehler führen meist zu nicht lösbarem Gleichungssystem

$\rightarrow$ Lösung numerisch approximieren („näheste Lösung“)

- Bessere Approximation bei größerer Anzahl von Punkten

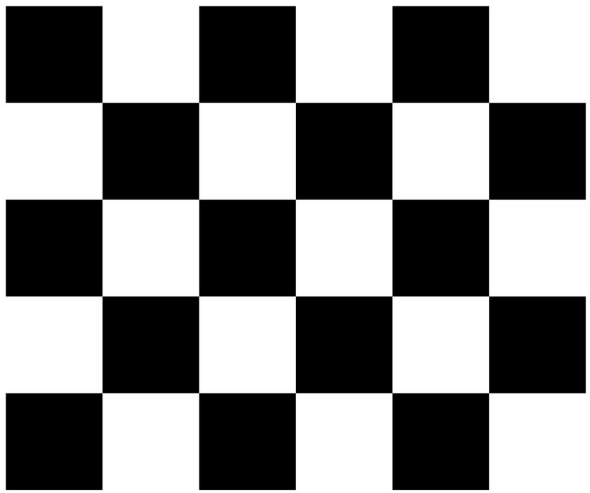
Schachbrettmuster

- Idee: Globales Koordinatensystem hat seinen Ursprung in der linken oberen Ecke der Schachbrettmusterebene

→ x- und y-Koordinaten in Schachbrettfeldgrößeneinheiten, $z = 0$

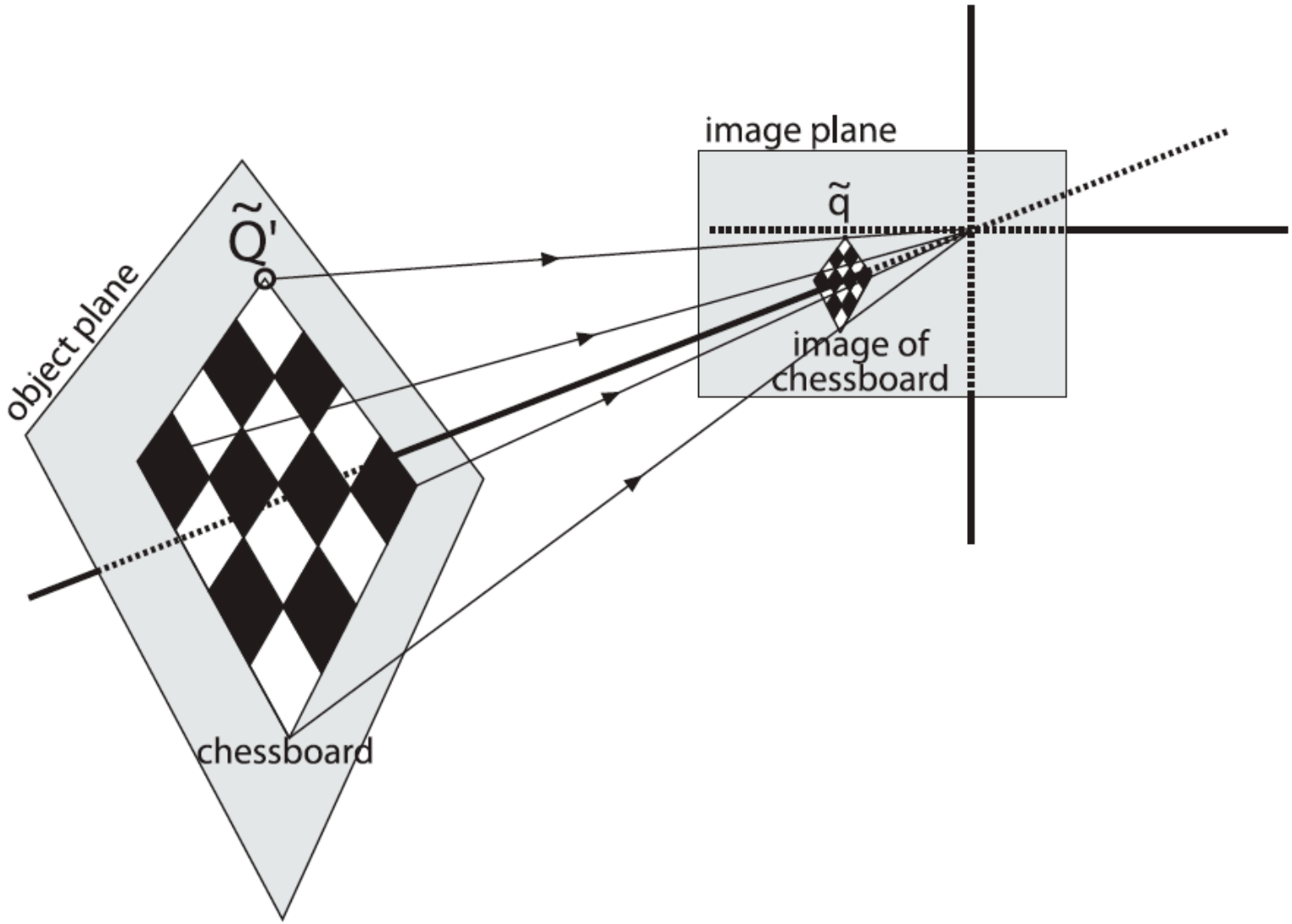
→ Kameraposition und -rotation relativ zu Schachbrettmusterebene definieren extrinsische Kameraparameter

- Muster **muss** asymmetrisch sein (ansonsten Freiheitsgrade)



Quelle: `http://2.bp.blogspot.com/_rScOzPNRAGQ/TCA_XxCIOCI/AAAAAAAAA88/6y3Aq6hPaAI/s1600/chessboard+6x5.jpg`

Homographie I



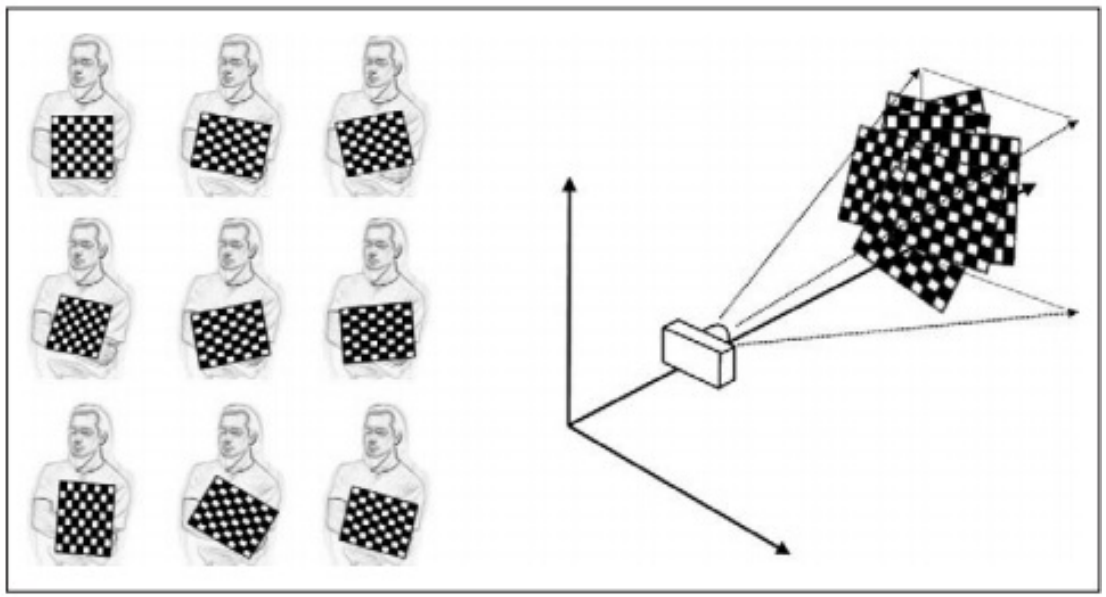
Quelle: Lee, D. J.: Camera Calibration - Homography.
http://ece631web.groups.et.byu.net/Lectures/ECEn631%2010%20-%20Homography%20Camera%20Calibration.pdf
(16.8.2014), 2014.

Homographie II

- Homographie ($3 \cdot 3$-Matrix): Projektive Abbildung von einer Ebene auf eine andere (hier: Schachbrettmusterebene auf Bildebene)
- Reduziert Freiheitsgrade pro Bild (ohne Details)

$\rightarrow$ Aufnahme mehrerer Bilder mit verschiedenen extrinsischen Parametern notwendig $\rightarrow$ verschiedene Homographien (berechenbar)

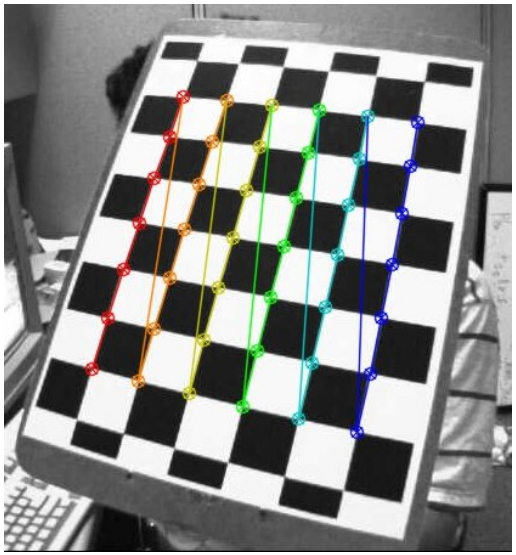
- Intrinsische Parameter bleiben konstant $\rightarrow$ leicht zu ermitteln



Quelle: Unbekannt: Stereovision reconstruction system. `http://apps.man.poznan.pl/trac/stereovision` (16.8.2014), 2013.

Ermittlung des Verzeichnungsvektors

- Voraussetzung: Kanten auf Schachbrettmuster sind reihenweise kollinear und spaltenweise parallel zueinander (bzw. umgekehrt)
- Vorgehensweise: Abweichung in aufgenommenen Bildern unter Berücksichtigung der intrinsischen Kameraparameter bestimmen (ohne Details) $\rightarrow$ Schätzung des Verzeichnungsvektors
- Gesamten Vorgang mit Schätzwerten wiederholen und verfeinern



Quelle: Mordvintsev, A. und K., A.: Camera Calibration. `http://opencv-python-tutroals.readthedocs.org/en/latest/py_tutorials/py_calib3d/py_calibration/py_calibration.html` (16.8.2014), 2014.

Stereokalibrierung

- Voraussetzung: Zwei Kameras mit zeitlich unveränderter relativer Pose zueinander (konstante Rotation und Translation)
- Ziel: Bestimmung der Rotationsmatrix und des Translationsvektors (effektiv Bestimmung der essenziellen Matrix)
- Vorgehensweise:
  - Separate Kalibrierung beider Kameras (falls nicht bereits geschehen)
  - Schätzung einer kombinierten Rotation und Translation, die mit den extrinsischen Kameraparametern in allen Bildern so gut wie möglich übereinstimmt (lineares Gleichungssystem)
  - Verbesserung der Schätzung
- Liefert alle notwendigen Informationen zur Berechnung der essenziellen Matrix und der Fundamentalmatrix

$\rightarrow$ Ergebnisse können über Epipolargleichung verifiziert werden

Zusammenfassung zum Themenblock Stereoskopie

- Kamerakalibrierung: Bestimmung der Kameramatrix (interne und externe Kameraparameter) und des Verzeichnungsvektors

→ Erlaubt Berechnungen mit dem (einfacheren) Lochkameramodell

- Stereokalibrierung: Bestimmung der relativen Pose zweier Kameras

→ Erlaubt Berechnung der Fundamentalmatrix

→ Erlaubt Rektifizierung (Horizontalmachen der Epipolarlinien)

→ Erlaubt effizientes Stereo-Matching (Finden von (scheinbaren) Punktkorrepondenzen in zwei Stereokamerabildern)

→ Erlaubt Disparitätsberechnung (Berechnung des Projektionsversatzes)

→ Erlaubt Entfernungsberechnung (mit Hilfe der Kameramatrix)

→ Erlaubt 3-D-Rekonstruktion aus zwei Stereokamerabildern

Danke für die Aufmerksamkeit!

Fragen?