



3D-Punktkorrelation auf Basis von 2D-Bildern auf einer FPGA-Plattform

Verteidigung zur Diplomarbeit

Simon Willeke
simon.willeke@mailbox.tu-dresden.de

Dresden, 12.12.13



Gliederung

1 Einleitung

2 Grundlagen

3 FPGA Entwurf

5 Ergebnisse

6 Diskussion

1 Einleitung

- 3D Scanning: viele Verfahren
 - Beispielanwendungen Computer Vision: Kinect, autonome Navigation
- Kooperation mit Wissenschaftlern vom Institut für angewandte Optik, Friedrich Schiller Universität Jena
- Optische Hochpräzisions-3D-Vermessung
- Großer Beleg: Analyse Hardwarebeschleunigungspotential

1 Einleitung

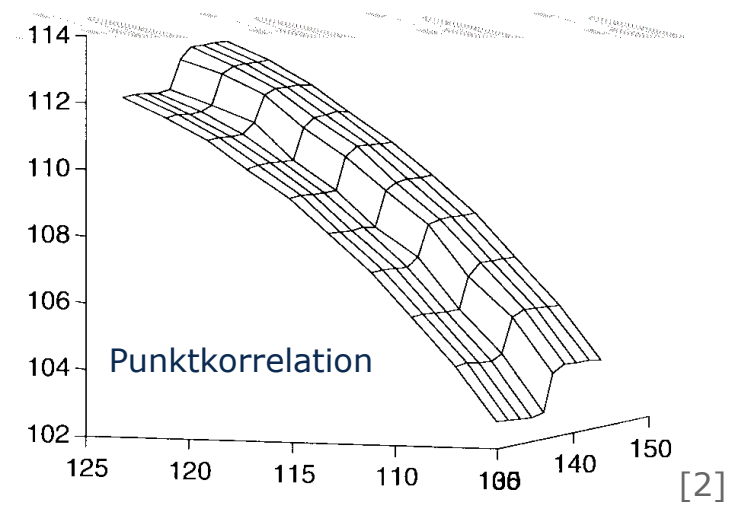
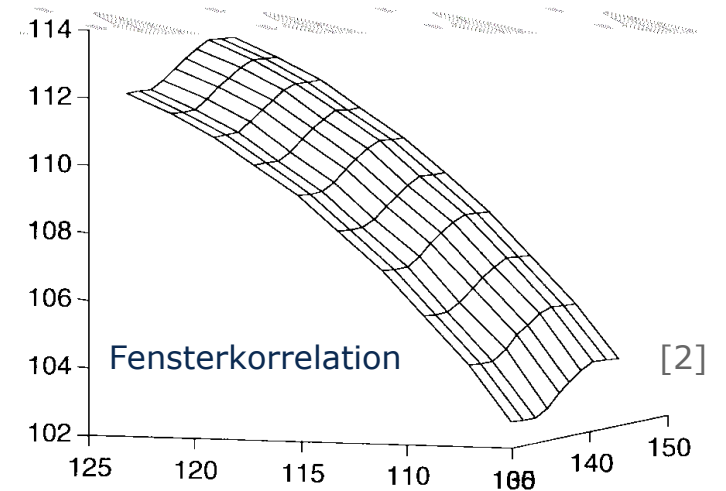
Aufgabenstellung

- Implementierung der 3D-Punktkorrelation auf dem FPGA
- Erstellung einer Programmbibliothek für Linux
- Evaluierung unter relevanten Parametrierungen

2 Grundlagen

Motivation

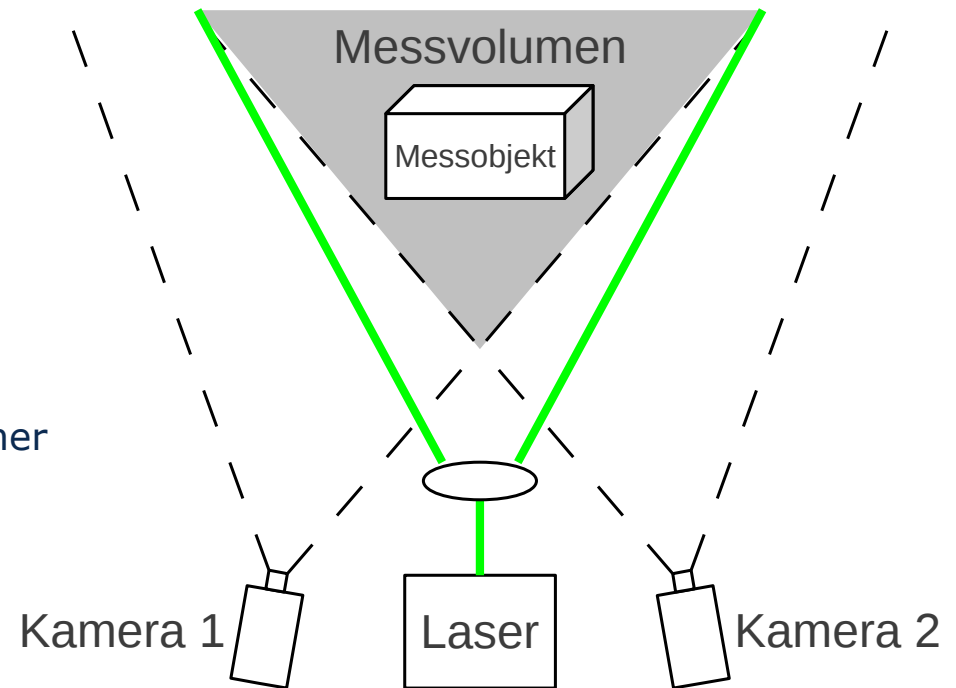
- Pixelgenaue Tiefeninformation
 - keine Approximation von Objektkanten (Bild)
- Fensterkorrelation schon in Hardware implementiert
- Neuentwicklung: Punktkorrelation



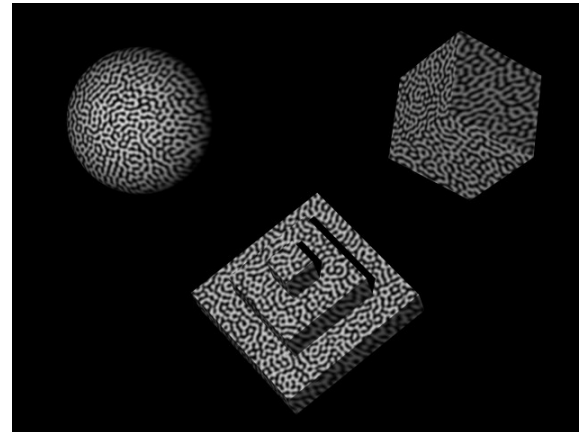
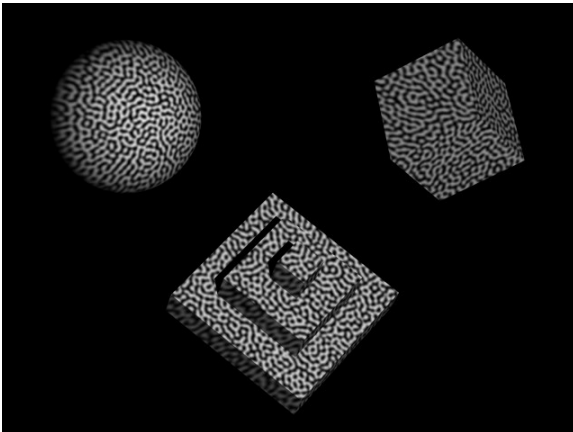
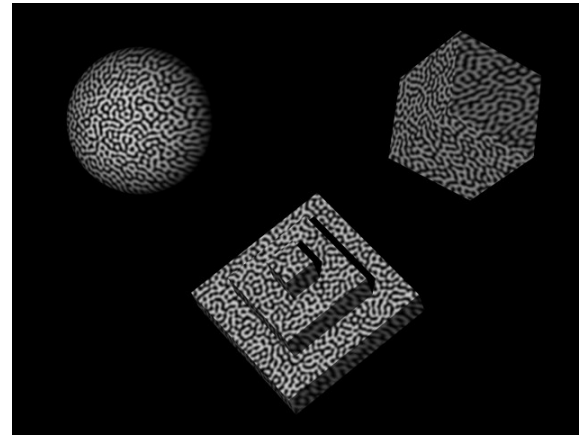
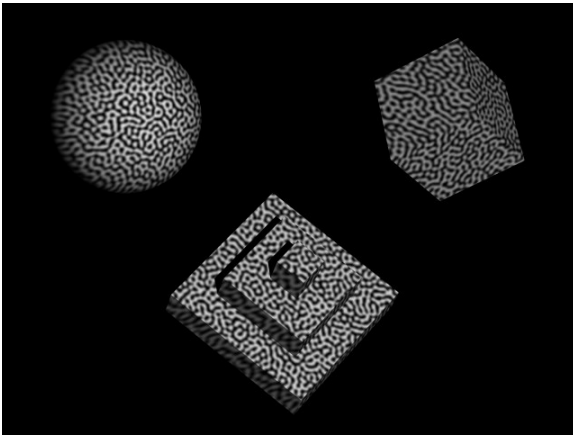
2 Grundlagen

Aufbau

- 2 Kameras (8bit Grauwerte)
- Projektion zeitveränderlicher statistischer Muster
 - Laser-Speckles (Bild)
 - Diaprojektor
- Aufnahme und Auswertung einer Sequenz von Stereobildern:
„Stereobildsequenz“

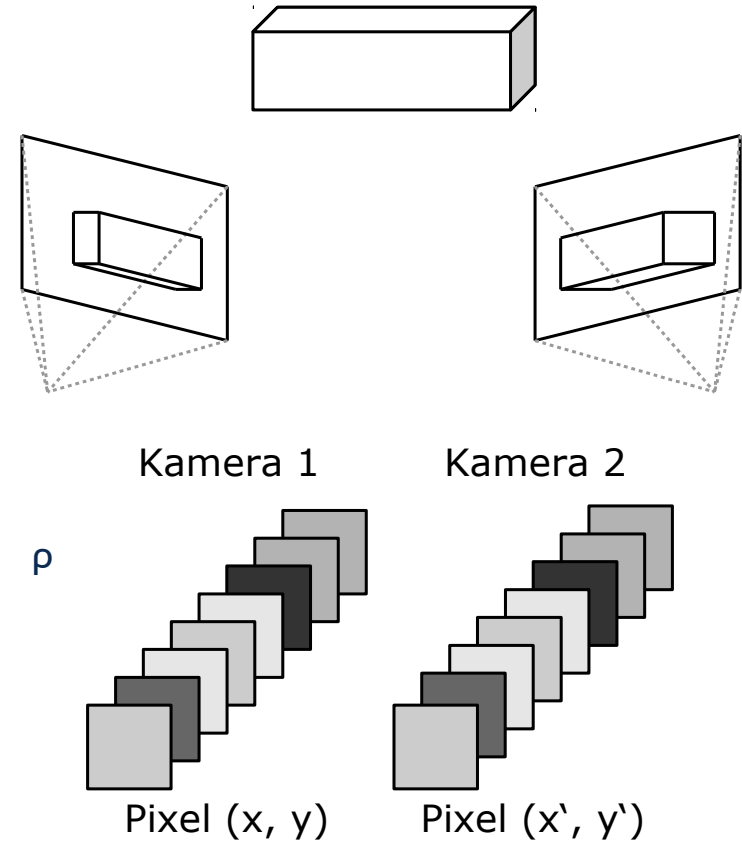


2 Grundlagen



2 Grundlagen Basialgorithmus

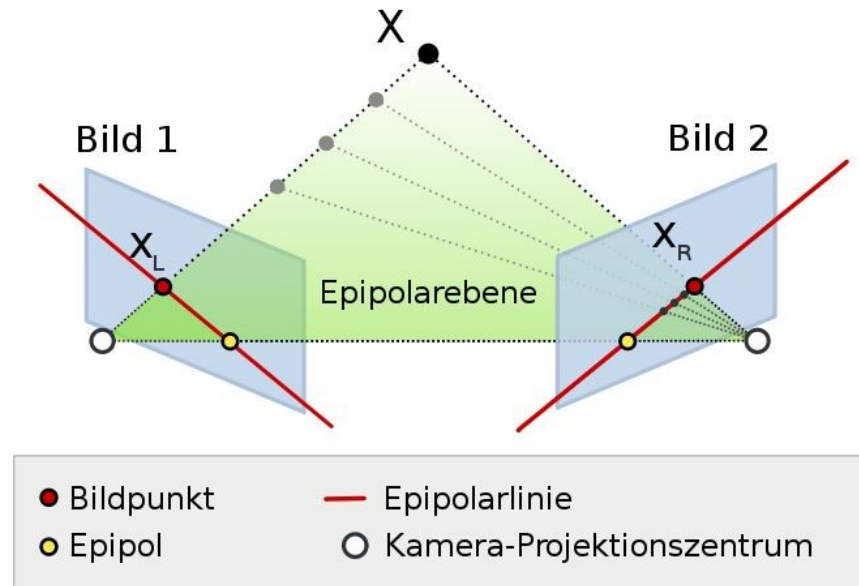
- Suche nach homologen Punkten
 - Pixel im linken und rechten Bild zeigen selben Objektpunkt
 - Berechnung mittels normalisierter Kreuzkorrelation ρ
 - ρ liegt zwischen -1,0 und 1,0
 - Zwei Punkte sind homolog, wenn $> 0,8$
 - Objektpunkt nur von einer Kamera sichtbar \rightarrow Schwellwert wird nicht erreicht
- Triangulation



2 Grundlagen

Verbesserung der Performance

- Punktsuche im ganzen Bild dauert sehr lange
- Beschränkung auf Epipolarlinien bei bekannten Kameraparametern
- **Rektifizierung** zur Verbesserung der Cachenutzung und Pipelinebarkeit der Speicherzugriffe (Burst-Zugriff)

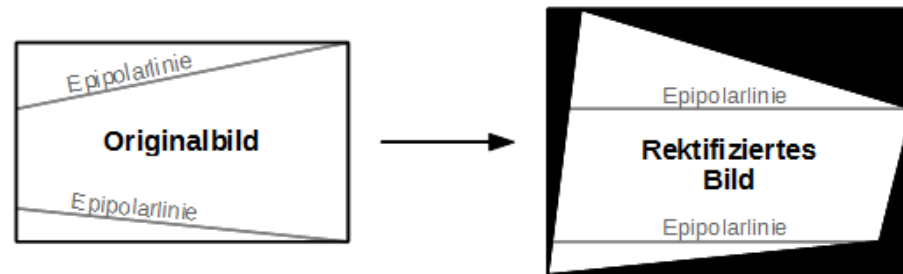


[3]

2 Grundlagen

Zusammenfassung des Algorithmus

- **Rektifizierung**



- **Punktkorrelation**

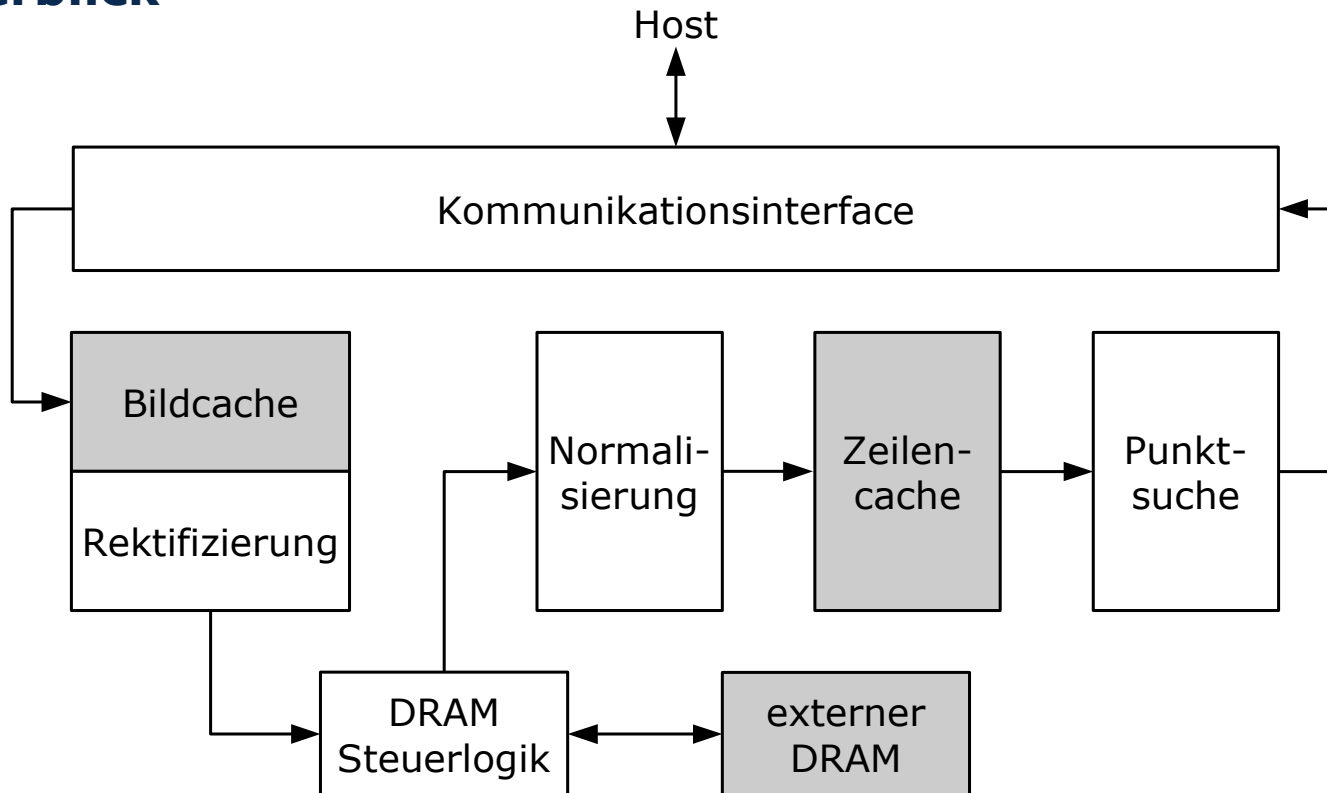
- Normalisierung
- Punktsuche

$$\rho_{x,y,x',y'} = \frac{\sum_{s=1}^N (g_{x,y,s} - \bar{g}_{x,y}) \cdot (g_{x',y',s} - \bar{g}_{x',y'})}{\sqrt{\sum_{s=1}^N (g_{x,y,s} - \bar{g}_{x,y})^2} \cdot \sqrt{\sum_{s=1}^N (g_{x',y',s} - \bar{g}_{x',y'})^2}}$$

- **Triangulation**

3 FPGA Entwurf

Überblick



3 FPGA Entwurf

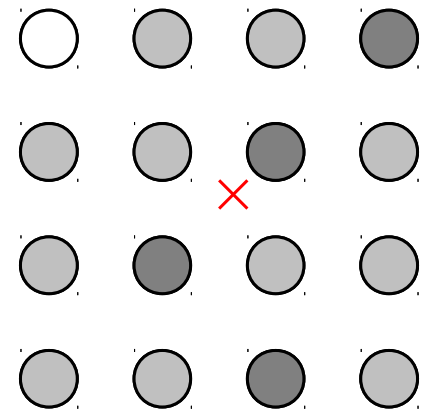
Rektifizierung

- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3×2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation

3 FPGA Entwurf

Rektifizierung

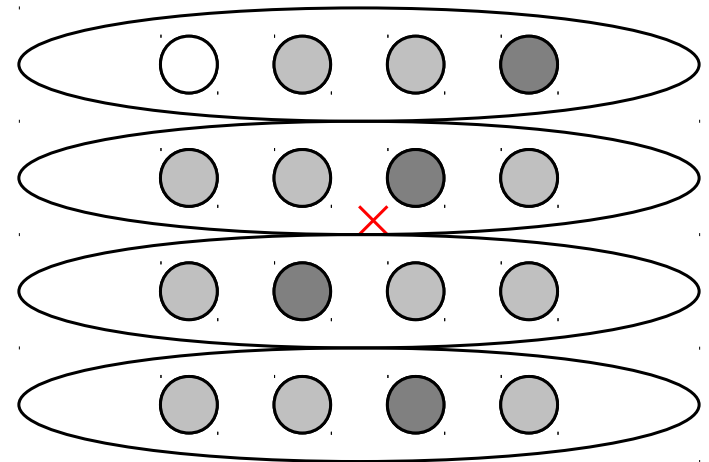
- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3x2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation



3 FPGA Entwurf

Rektifizierung

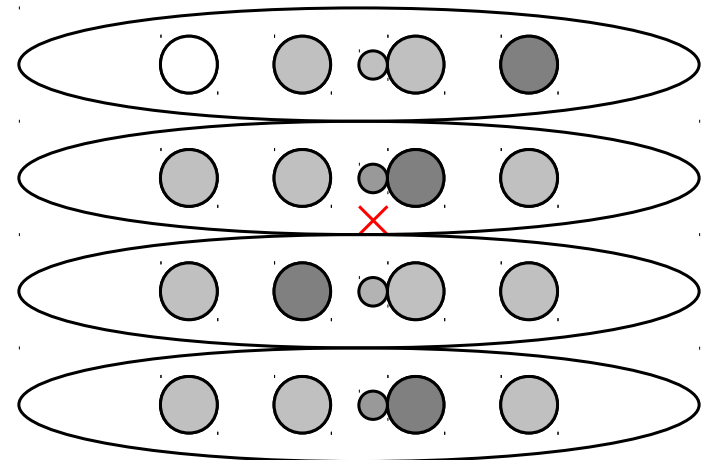
- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3×2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation



3 FPGA Entwurf

Rektifizierung

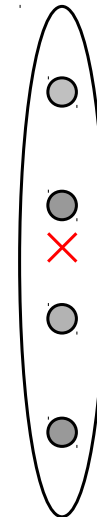
- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3x2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation



3 FPGA Entwurf

Rektifizierung

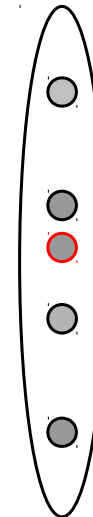
- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3×2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation



3 FPGA Entwurf

Rektifizierung

- Festkomma-Arithmetik Pipelines
- Projektive Transformation
 - 3×2 Matrix-Vektor-Multiplikation
 - Division (Newton-Raphson Verfahren)
- Bikubische Interpolation
 - 4 horizontale Interpolationen (parallel)
 - 1 vertikale Interpolation



3 FPGA Entwurf

Normalisierung

- DRAM Ausgabe liefert 8 Bursts je 6 Pixel
- Parallele Festkomma-Arithmetik Pipelines je Pixel
 - Mittelwert: Akkumulation und Konstantenmultiplikation
 - Inverse Quadratwurzel: iteratives Newton Verfahren
- Normalisierte Grauwerte weiter zum Zeilencache

$$n_{x,y,s} = \frac{(g_{x,y,s} - \overline{g_{x,y}})}{\sqrt{\sum_{s=1}^N (g_{x,y,s} - \overline{g_{x,y}})^2}}$$

3 FPGA Entwurf

Punktsuche und Zeilencache

- Suche homologe Punktpaare mit maximaler Korrelation

$$\rho_{x,y,x',y'} = \sum_{s=1}^N (n_{x,y,s} \cdot n_{x',y',s})$$

- Einfach in Hardware, **aber**:
 - hohe Zugriffsparellität erforderlich
48 Worte je Takt
 - Speicherorganisation schlecht auf BlockRAM abbildbar

3 FPGA Entwurf

Punktsuche und Zeilencache

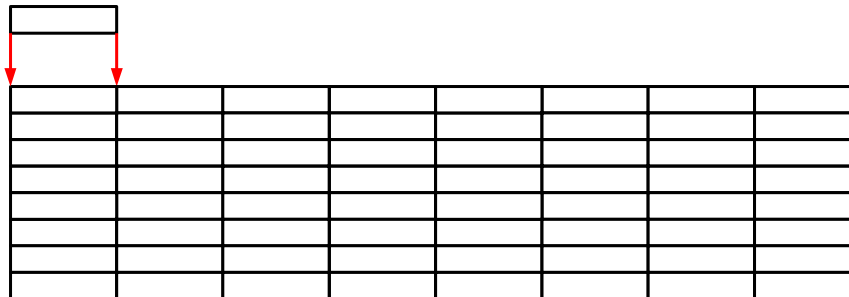
- Suche homologe Punktpaare mit maximaler Korrelation

- Zur Erinnerung:
$$\rho_{x,y,x',y'} = \sum_{s=1}^N (n_{x,y,s} \cdot n_{x',y',s})$$

- Einfach in Hardware, **aber**:

- hohe Zugriffsparellität erforderlich
48 Worte je Takt

- Speicherorganisation schlecht auf BlockRAM abbildbar: **Schreibvorgang**



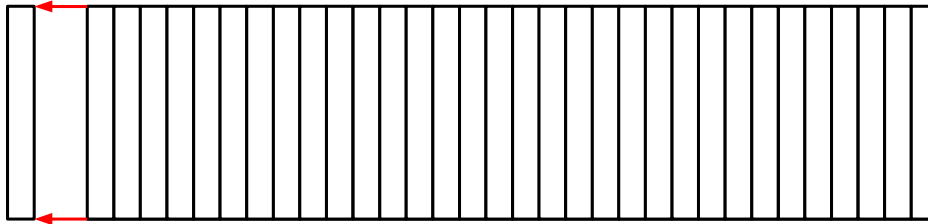
3 FPGA Entwurf

Punktsuche und Zeilencache

- Suche homologe Punktpaare mit maximaler Korrelation

- Zur Erinnerung:
$$\rho_{x,y,x',y'} = \sum_{s=1}^N (n_{x,y,s} \cdot n_{x',y',s})$$

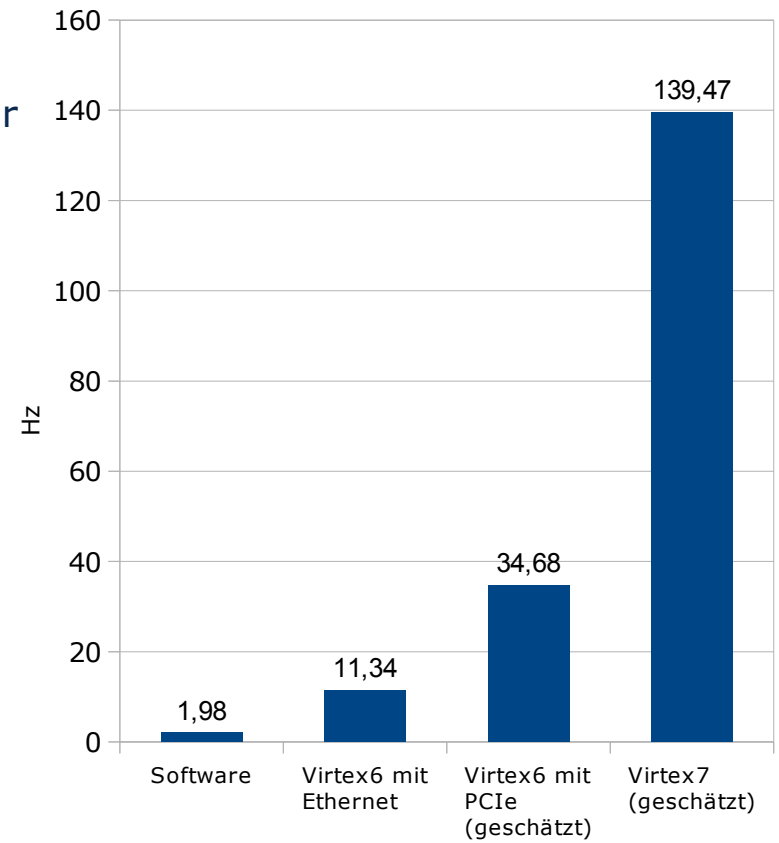
- Einfach in Hardware, **aber**:
 - hohe Zugriffsparellität erforderlich
48 Worte je Takt
 - Speicherorganisation schlecht auf BlockRAM abbildbar: **Lesevorgang**



5 Ergebnisse

- 11 Rekonstruktionen je Sekunde erreichbar
- Vergleich Software: 2 Rekonstruktionen
- Mit PCIe bis zu 34 Rekonstruktionen
 - Ethernet stellt Flaschenhals dar
 - Teilmodule gut parallelisierbar
- Weitere Beschleunigung durch größere FPGAs möglich
- Verfeinerung der Punktzuordnung (Subpixelrefinement)
 - schlecht für FPGA geeignet
 - in Software sehr effizient

Rekonstruktionen je Sekunde



Quellen

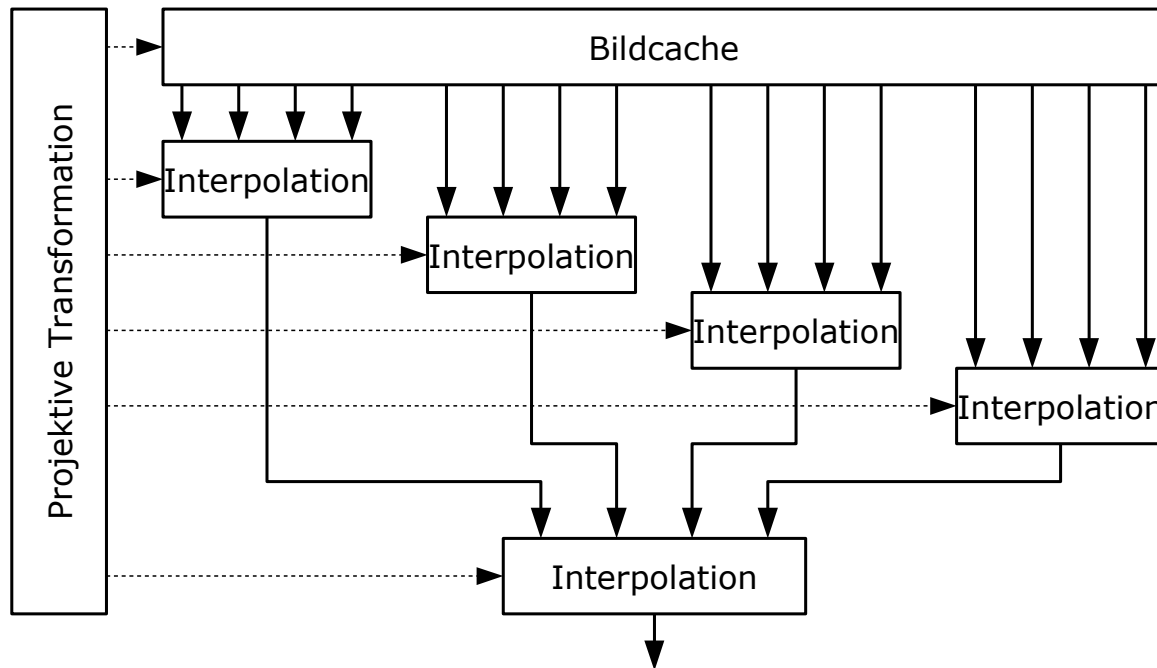
- [1] S. Willeke. Untersuchung der Berechnung der 3D-Punktkorrelation auf hochparallelen Plattformen. Großer Beleg, Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik, Institut für Technische Informatik, November 2012.
- [2] P. Albrecht et al. (1998): „Improvement of the Spatial Resolution of an optical 3-D measurement Procedure“, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 47. No. 1, February 1998.
- [3] www2.informatik.hu-berlin.de/cv/index.php?menu=teaching&submenu=overviewteaching&mode=overviewteaching
- [4] T. Luhmann. Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2003.
- [5] M. Schaffer, M. Grosse, R. Kowarschik. High-speed pattern projection for three-dimensional shape measurement using laser speckles. Applied Optics, 49(18): S 3622–3629, Juni 2010.



»Wissen schafft Brücken.«

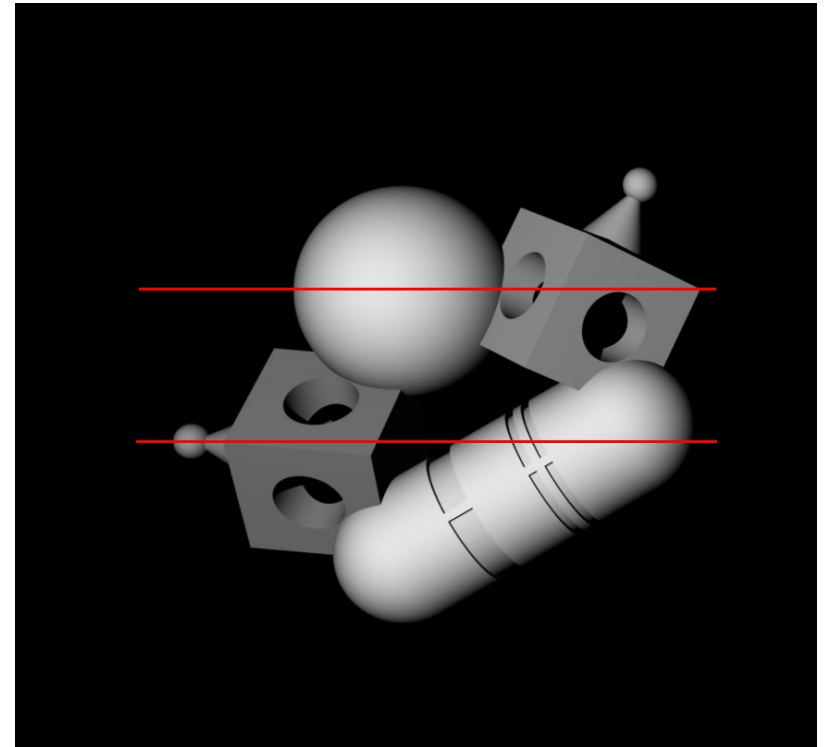
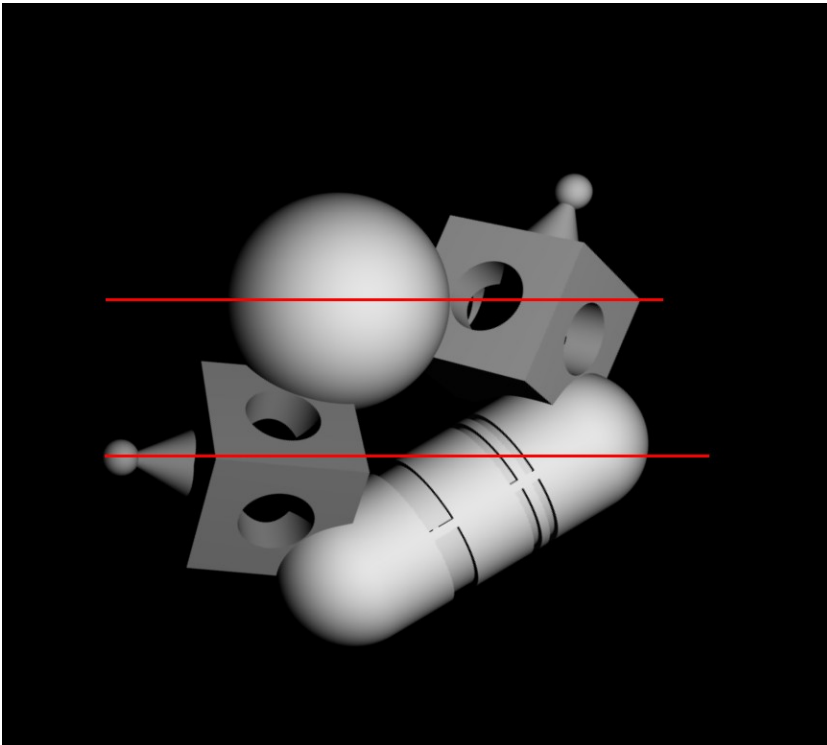
Anhang

Rektifizierung



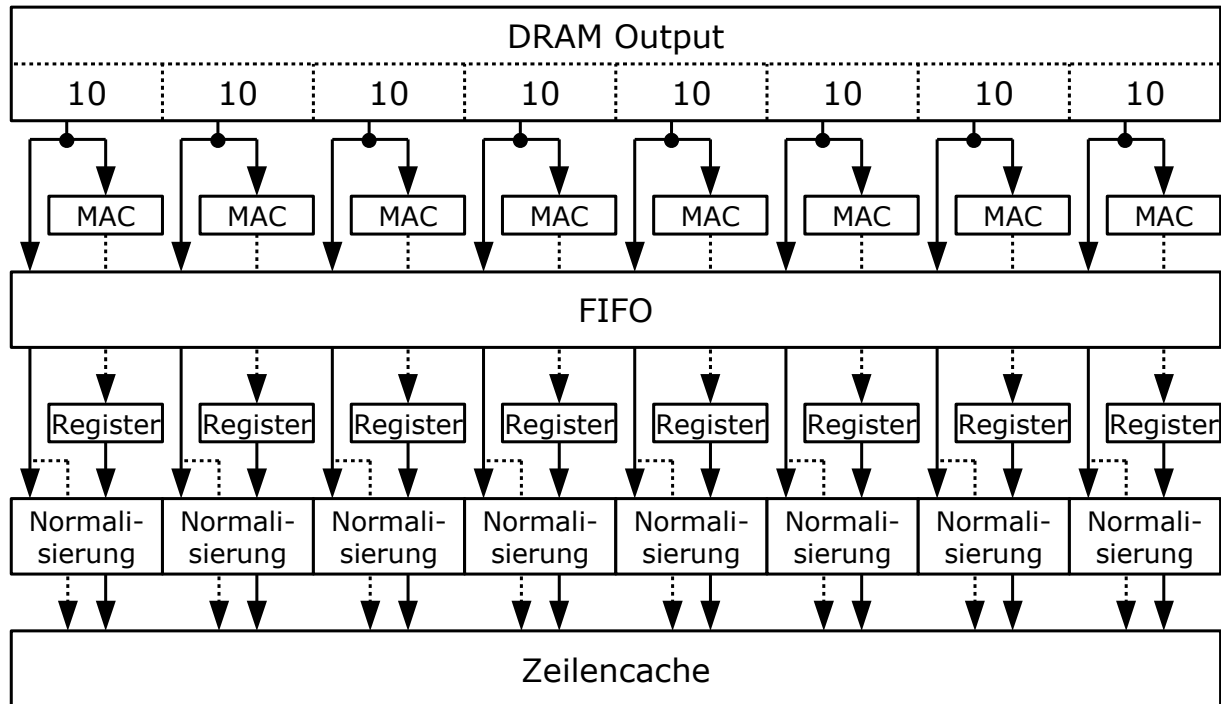
Anhang

Rektifizierung



Anhang

Normalisierung



Anhang

Normalisierung

