



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

Zwischenvortrag zur Diplomarbeit

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

Dresden, 28.03.13



Gliederung

1 Aufgabenstellung

2 Grundlagen

3 FPGA Entwurf

4 Speicher- und Kommunikationsschnittstellen

5 Evaluationsparameter

6 Diskussion

1 Aufgabenstellung

Einordnung

- Beschleunigung eines Verfahren zur 3D-Vermessung mit Hilfe eines FPGAs
- „Zeitliche Punktkorrelation über statistische Grauwertsequenzen“
- Hochgeschwindigkeits-3D-Vermessung
- Viele Bilder für eine Punktwolke erforderlich
 - hoher Rechenaufwand
 - Auswertung auf CPU dauert mehrere Sekunden
- Ziel ist Auswertung in Echtzeit:
Bildfrequenz \sim Punktwolkenfrequenz
- Kooperation mit Wissenschaftlern vom Institut für angewandte Optik, Friedrich Schiller Universität Jena

1 Aufgabenstellung

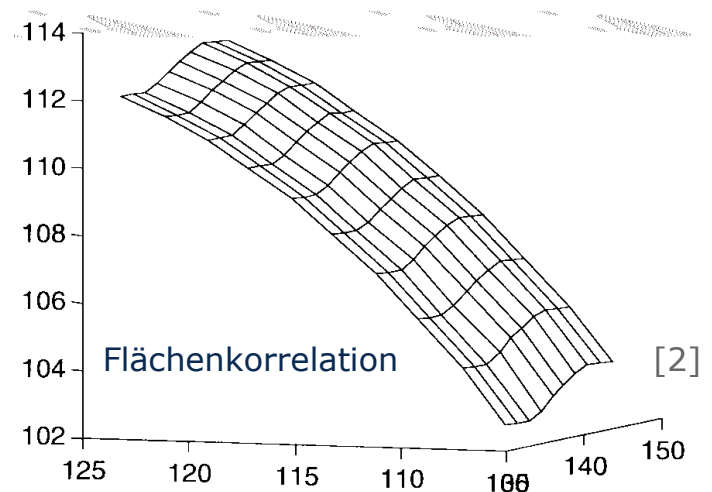
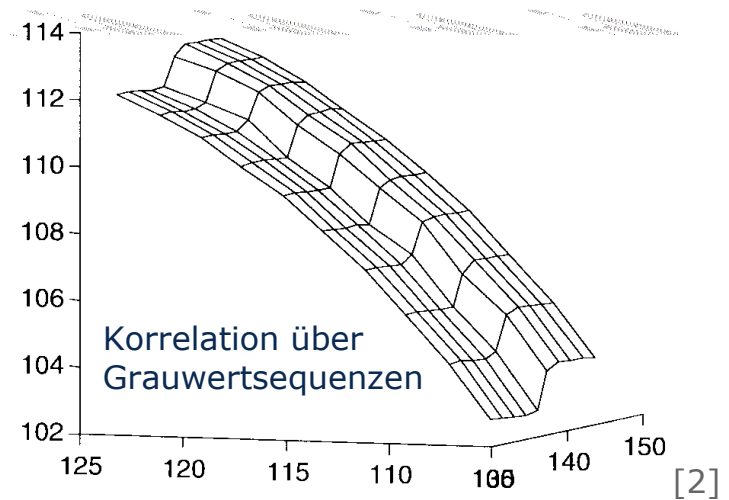
Aufgabe

- Vorbereitet durch Großen Beleg
- Auswahl des FPGA als Zielplattform gegenüber GPU
- Aufgaben im Detail:
 - Implementierung auf dem FPGA
 - Erstellung einer Programmbibliothek für Linux
 - Evaluierung unter relevanten Parametrierungen

2 Grundlagen

Motivation

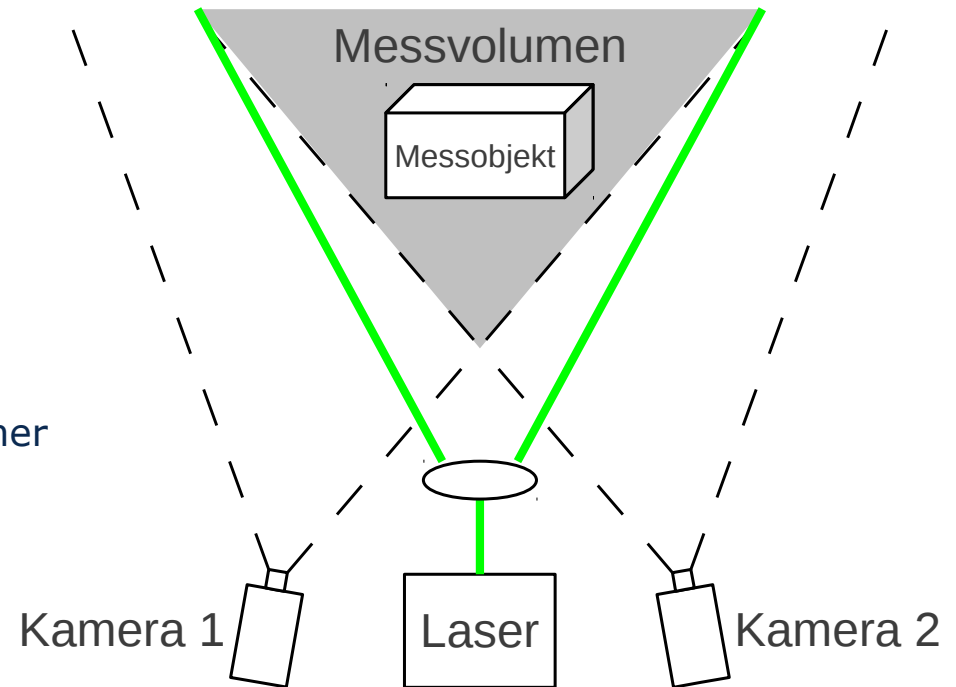
- Viele Verfahren für 3D-Scanning
- Anwendungen:
 - Medizin
 - automatisierte Produktprüfung auf Produktionslinien
- Besonders hohe Präzision gefordert
- Pixelgenaue Tiefeninformation
 - keine Approximation von Objektkanten (Bild)



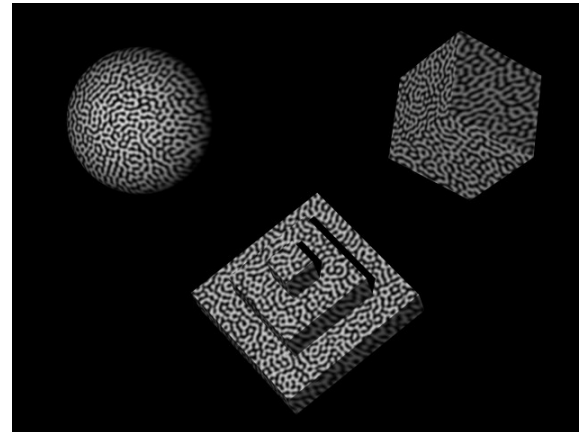
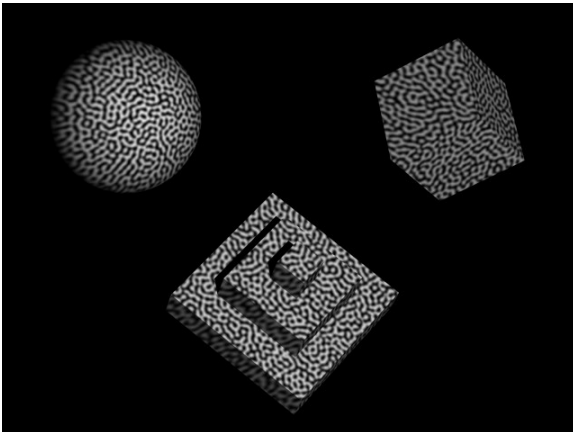
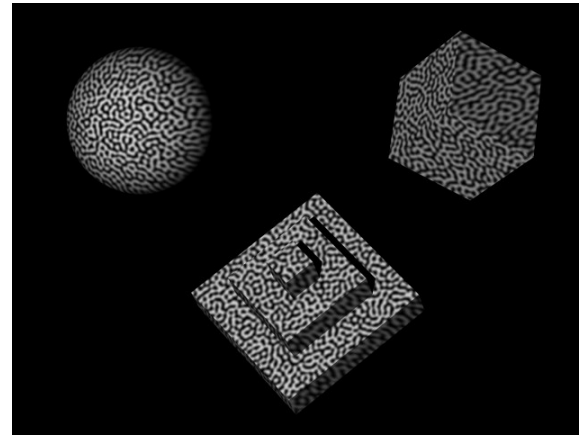
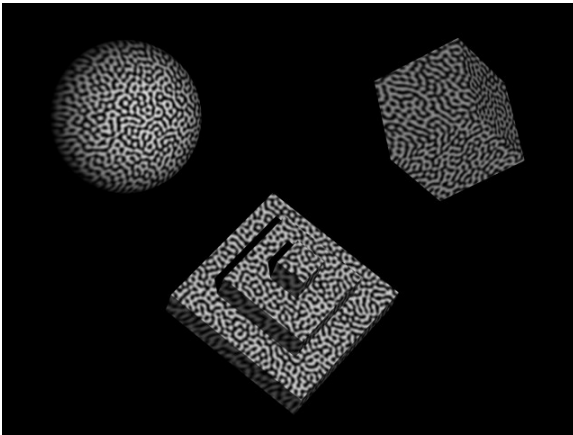
2 Grundlagen

Aufbau

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



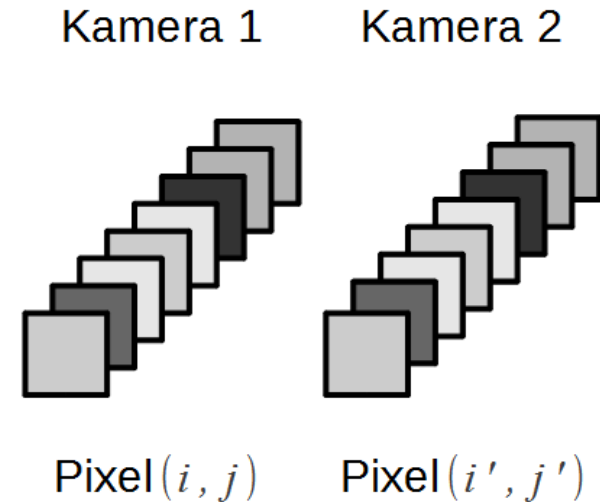
2 Grundlagen



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 $\max(\rho) > 0,8$
 - Objektpunkt nur von einer Kamera sichtbar \rightarrow Schwellwert wird nicht erreicht
- Triangulation

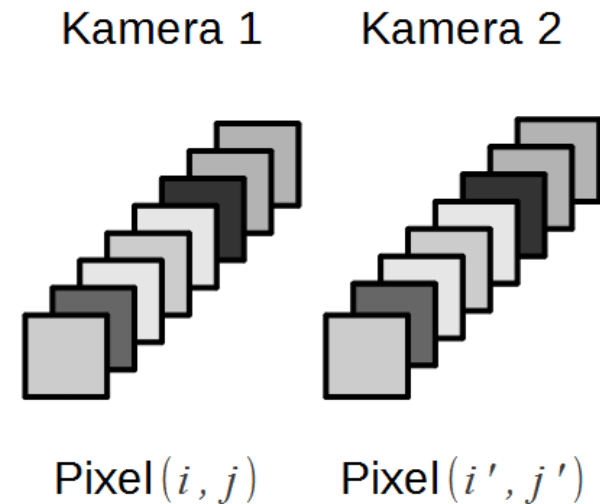


$$\rho_{i,j,i',j'} = \frac{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j}) \cdot (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j})^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})^2}}$$

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 $\max(\rho) > 0,8$
 - Objektpunkt nur von einer Kamera sichtbar \rightarrow Schwellwert wird nicht erreicht
- Triangulation

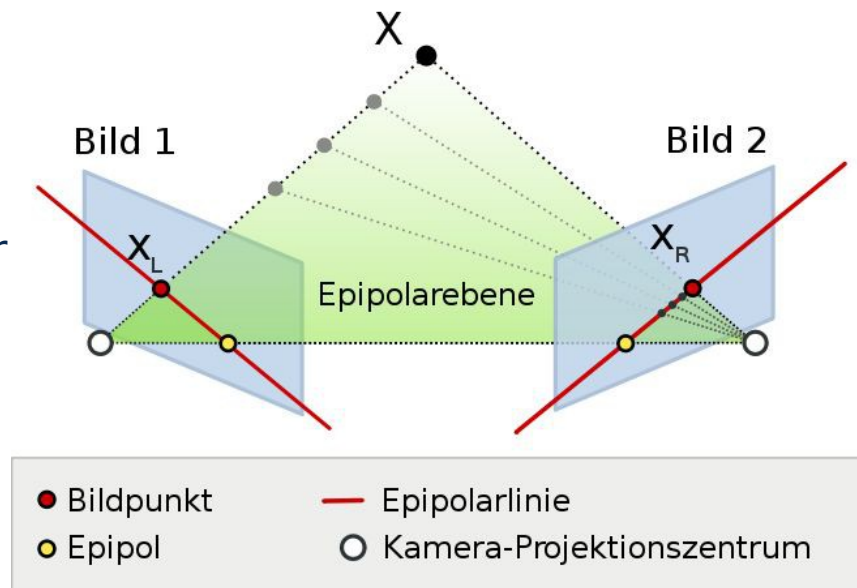


$$\rho_{i,j,i',j'} = \frac{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j}) \cdot (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j})^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})^2}}$$

2 Grundlagen

Verbesserung der Performance

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



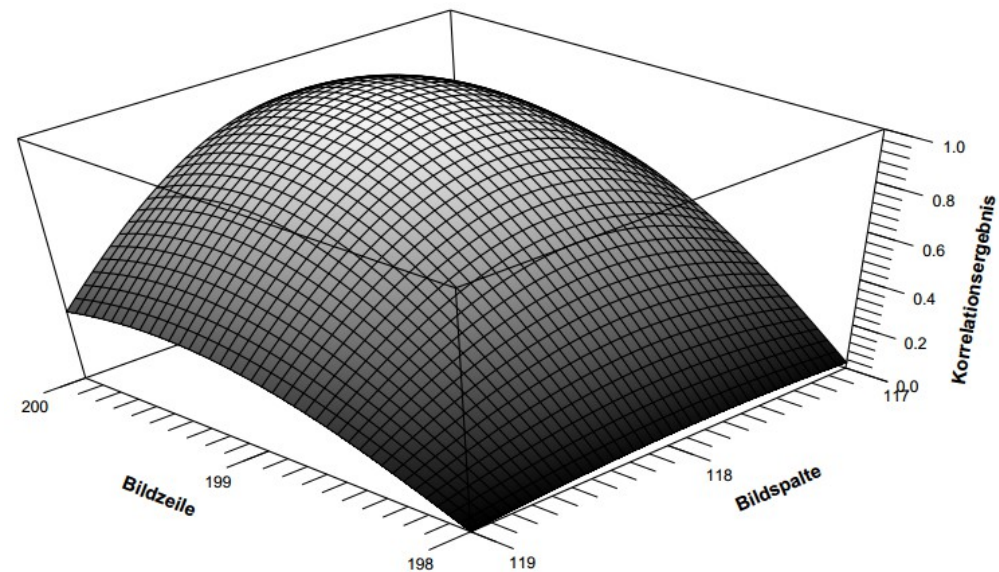
[3]

2 Grundlagen

Verbesserung der Präzision

- Punktzuordnung auf Pixelraster ungenau
- Besser: Subpixelraster
 - Interpolation notwendig
- Ziel ist maximale Präzision
 - bikubische Interpolation

» Subpixelrefinement

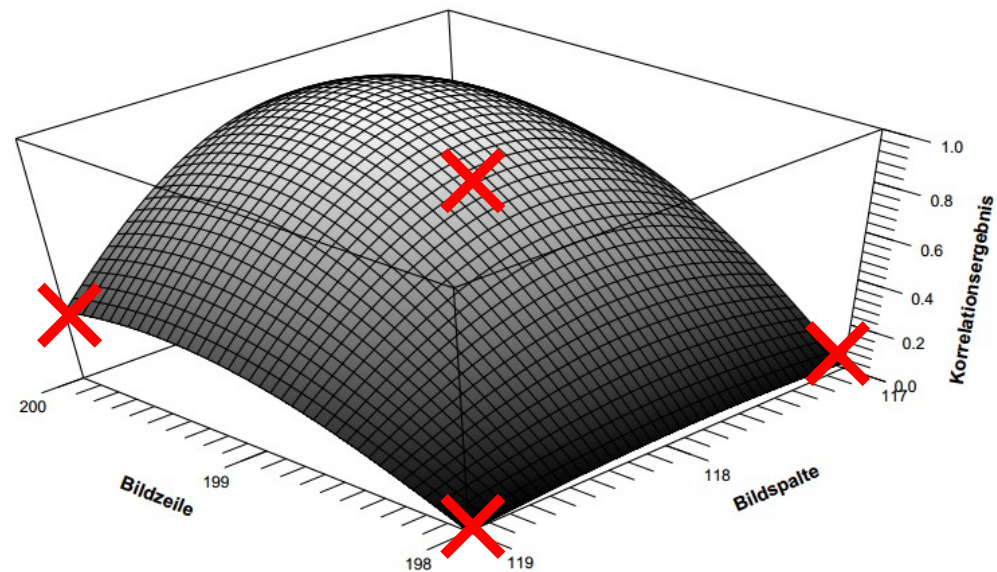


2 Grundlagen

Verbesserung der Präzision

- Punktzuordnung auf Pixelraster ungenau
- Besser: Subpixelraster
 - Interpolation notwendig
- Ziel ist maximale Präzision
 - bikubische Interpolation

» Subpixelrefinement

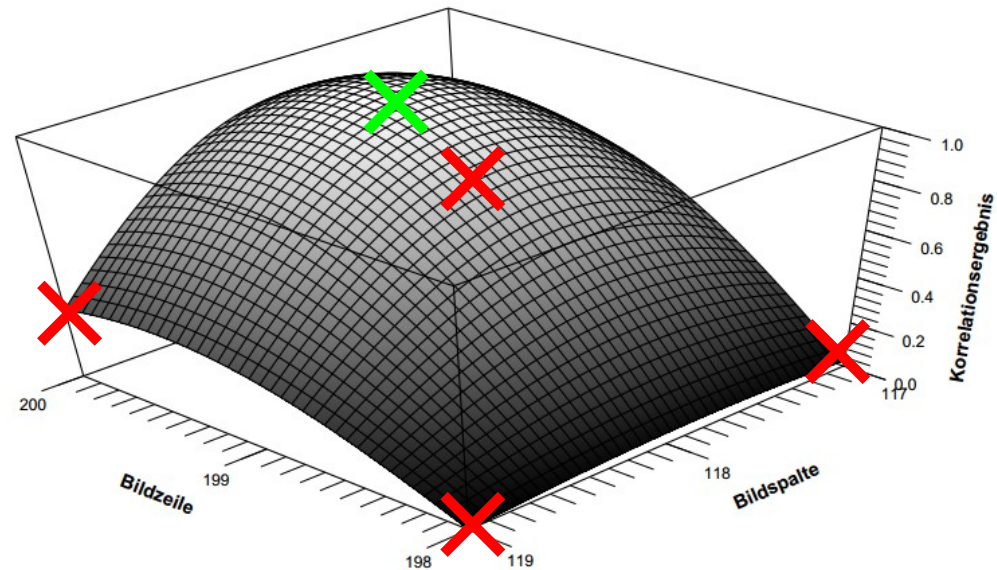


2 Grundlagen

Verbesserung der Präzision

- Punktzuordnung auf Pixelraster ungenau
- Besser: Subpixelraster
 - Interpolation notwendig
- Ziel ist maximale Präzision
 - bikubische Interpolation

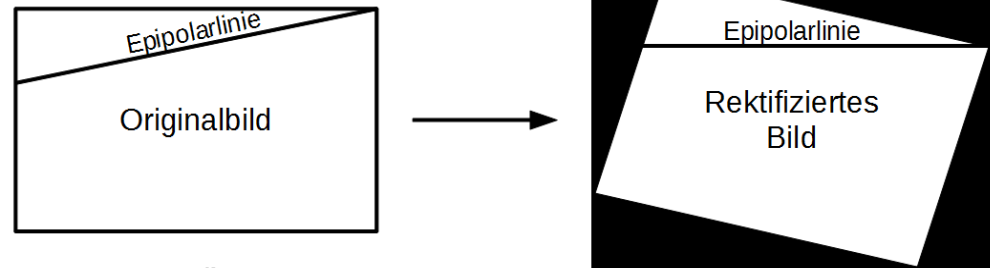
» Subpixelrefinement



2 Grundlagen

Zusammenfassung des Algorithmus

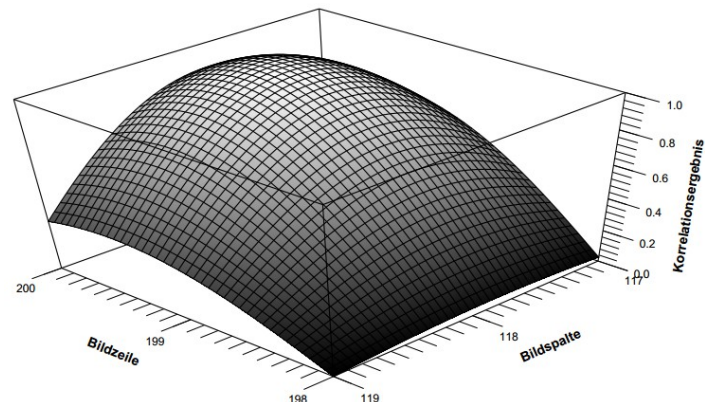
- **Rektifizierung**



- **Punktsuche**
mit vorheriger Normalisierung

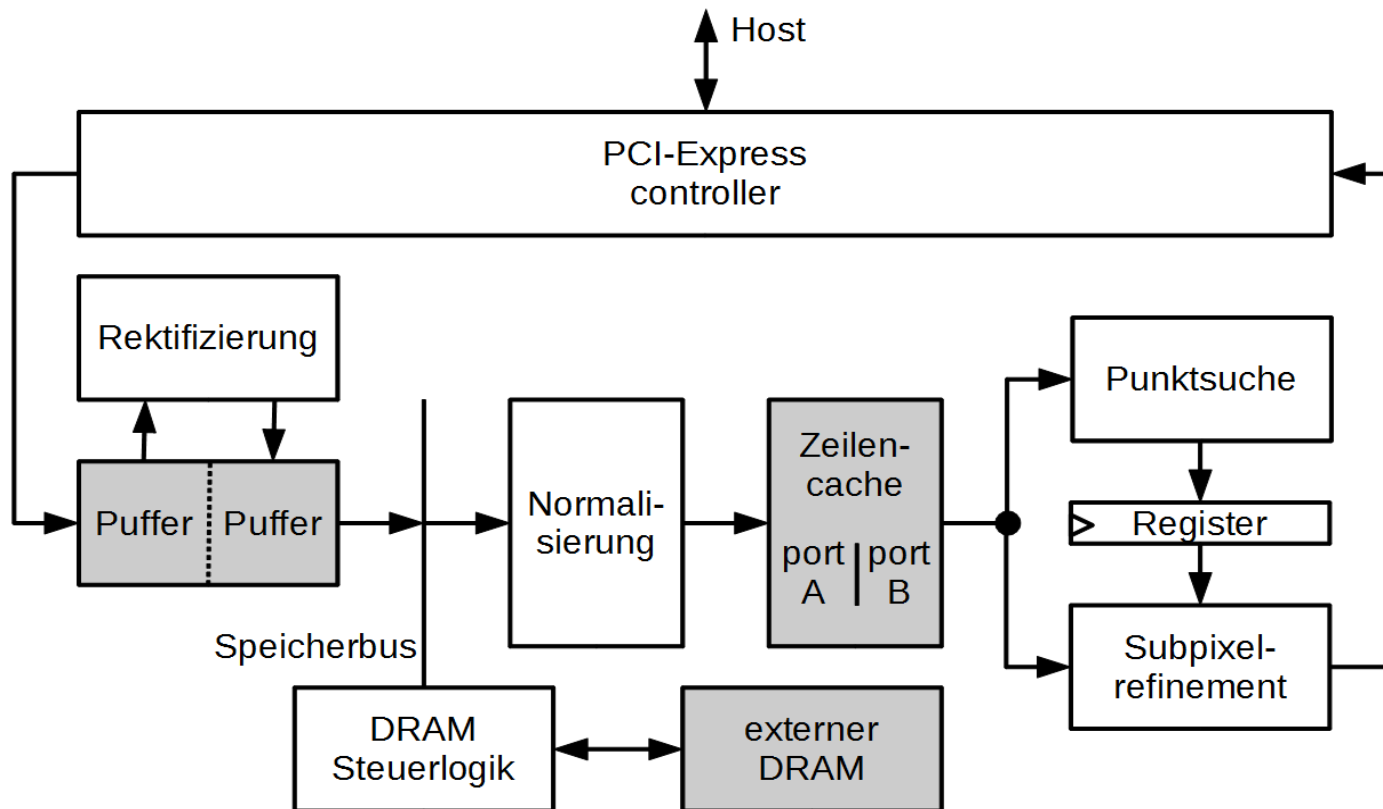
$$\rho_{i,j,i',j'} = \frac{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j}) \cdot (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i,j,t} - \bar{g}_{i,j})^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^N (g_{i',j',t} - \bar{g}_{i',j'})^2}}$$

- **Subpixelrefinement**



3 FPGA Entwurf

Blockdiagramm des Entwurfs



3 FPGA Entwurf

Grundsätzliches

- Entwicklungsboard: Virtex6 ML605
- Zielboard: Kintex7 KC705

- Kritische Ressourcen sind Multiplizierer und BlockRAMs
- Geschwindigkeit des Designs hängt direkt mit deren Anzahl zusammen
- Einsatz von Festkomma-Arithmetik und massivem Pipelining

- DDR3 als Zwischenspeicher notwendig
- Hochgeschwindigkeits-Kommunikationsschnittstelle notwendig

3 FPGA Entwurf

aktueller Fortschritt

x

a

b

c

d

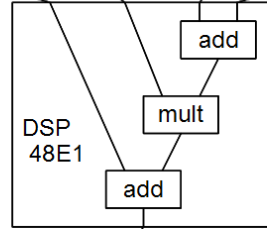
$$0.5f * (2*b + x * (-a + c + x * (2*a - 5*b + 4*c - d + x * (-a + 3*b - 3*c + d))))$$

2a

x

a - d

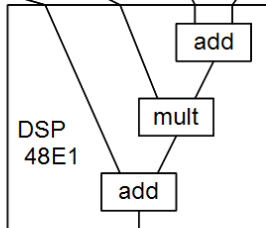
3b - 3c



c

x

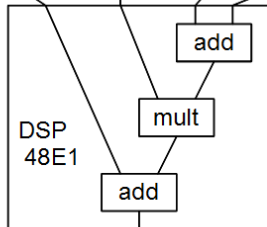
4c - 5b - d



2b

x

a



>> 1

4 Speicher- und Kommunikationsschnittstellen

externer DRAM als Zwischenspeicher

- DDR3 sowohl auf ML605 als auch auf KC705 vorhanden
- Xilinx MIG zur Interface-Erzeugung

- Feste Burstlänge von 8
- 4 aktive Speicherbänke erforderlich

- DRAM Access Pattern ...

4 Speicher- und Kommunikationsschnittstellen

Kommunikation mit dem Hostrechner

- Kandidaten sind PCI-Express oder Gigabit-Ethernet
- Datenrate für Virtex6 beträgt 720 Megabit/s
 - Kann somit von Gigabit-Ethernet bewältigt werden
 - Welche Geschwindigkeit kann der vorhandene Controller?
- Auf größeren FPGA können mehr Daten verarbeitet werden
 - PCI-Express oder 10Gigabit-Ethernet wird notwendig
 - Xilinx Integrated Block for PCI Express implementiert Physical, Data Link und Transaction Layer
 - Wieviel Arbeit wäre noch zu bewältigen?

5 Evaluationsparameter

Zum Vergleich mit Softwareimplementierung

- Interpolationsstrategie
- Analyse der Latenz
- Zahlenformat für die Festkomma-Arithmetik
 - DSPs haben 30bit / 18bit Eingänge und 48bit Ausgang
 - Tradeoff zw. Genauigkeit und Fläche
 - Fließkommazahlen?
- Bildgröße, Bildsequenzlänge

6 Diskussion

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

