

Evaluation einer modernen Zynq-Plattform am Beispiel der Implementierung einer Hough Transformation

Verteidigung der Bachelorarbeit

Dominik Weinrich
dominik.weinrich@tu-dresden.de

Dresden, 23.08.2018

Gliederung

- Aufgabenstellung
- Motivation
- Implementierung
- Auslagerung einzelner Komponenten in Hardware
- Evaluation
- Fazit
- Ausblick

Aufgabenstellung

- Softwareimplementierung einer Hough Transformation
 - Grayscale
 - Gauß-Filter
 - Canny Edge Detection
 - Circle Hough Transformation
- Iterative Auslagerung einzelner Komponenten auf den FPGA
- Evaluation

Motivation

- Anwendungsbereiche für Hough Transformation vielseitig
- Erkennung von Passanten in selbst fahrenden Automobilen
- Zählen von Objekten (Geld, GO-Spielsteine, ...) auf einem Bild
- Beschleunigung von rechenintensiven Aufgaben mittels FPGA oftmals notwendig, um Aufgaben echtzeitfähig zu machen



Abb. 1: Go-Spielbrett [1]



Abb. 2: Euromünzen [2]

Zielform - Zynq Ultrascale+ MPSoC

- 4 GB DDR4 RAM
- ARM Cortex-A53 64 Bit Vierkernprozessor
 - 32 KB L1 Cache
 - 1 MB L2 Cache
- Zynq Ultrascale XCZU9EG-2FFVB1156
 - 1.824 BRAM Blöcke je 18 Kb (32,1 Mb)
 - 2.520 DSPs
 - 548.160 FFs
 - 274.080 LUTs
 - 512 MB DDR4 RAM bei 2.666 Mbps
- Plattform besitzt PS und rekonfigurierbare PL mit gemeinsamen Speicherbereich

Implementierung

- Sprache: **C**
- Benutzte Bibliotheken/APIs:
 - **SDL2**
 - Kann verschiedene Bildformate laden
 - Leichter Zugriff auf die Roh-Pixelaten
 - **OpenMP**
 - Einfache Möglichkeit zur Parallelisierung des Codes
 - Leichte Erstellung einer parallelen und seriellen Programmversion
- Modularer Aufbau für leichtere Anpassung während HLS

Implementierung - Grayscale



Abb. 3: Eingabebild [2]



Abb. 4: Ausgabebild

Implementierung - Gauss-Filter



Abb. 5: Eingabebild



Abb. 6: Ausgabebild

Implementierung - Canny Edge Detection



Abb. 7: Eingabebild

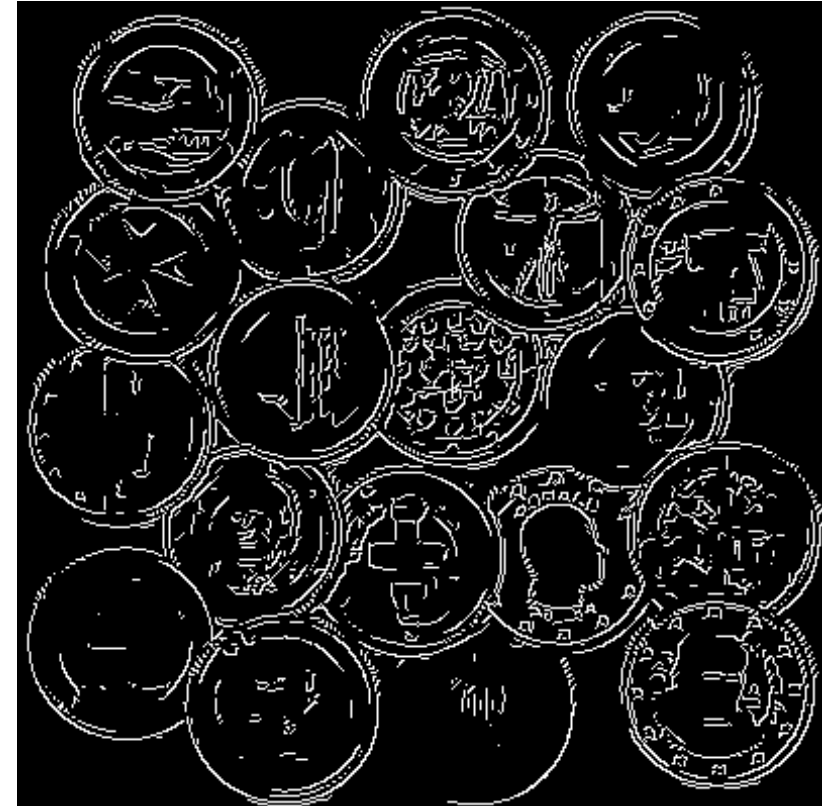


Abb. 8: Ausgabebild

Implementierung - Circle Hough Transformation

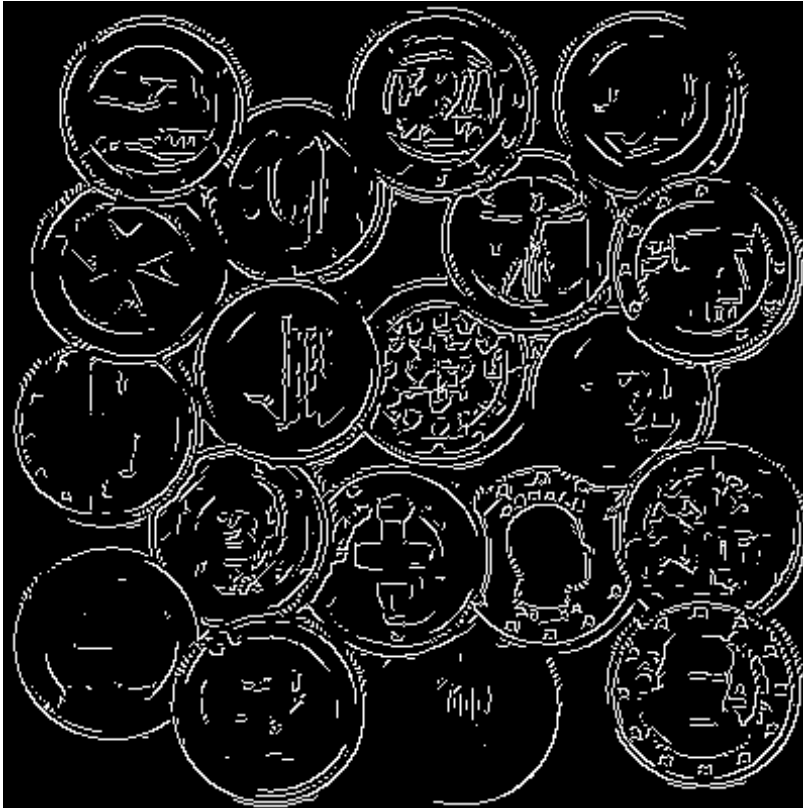


Abb. 9: Eingabebild

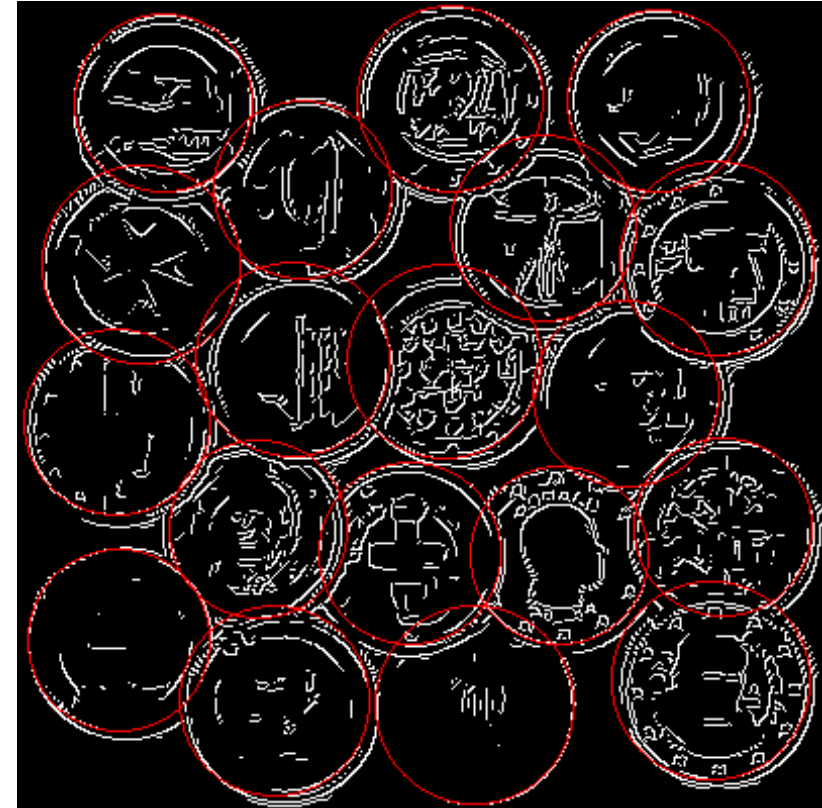


Abb. 10: Ausgabebild

Implementierung - Laufzeitvergleich

Tabelle 1: Laufzeitvergleich der verschiedenen Module

	200 x 200	400 x 400	800 x 800	1.200 x 1.200
Grayscale	1 ms	4 ms	14 ms	33 ms
Gauss-Filter	4 ms	23 ms	96 ms	216 ms
Canny	21 ms	81 ms	329 ms	733 ms
Hough	94 ms	1.044 ms	24.759 ms	274.957 ms
Gesamt	120 ms	1.152 ms	25.198 ms	275.939 ms

→ Votingverfahren des Houghmoduls bestimmt maßgeblich die Gesamtlaufzeit

→ Softwarelösung bricht für größere Bilder ein

Auslagerung einzelner Komponenten in Hardware

- Auslagerung der Komponenten mittels Vivado HLS
- Auslagerung des Grayscaleers
 - Einfaches Beispiel für eine High Level Synthese
 - Besitzt ein hohes Potential, da hochgradig parallelisierbar
- Auslagerung der Circle Hough Transformation
 - Modul mit höchster Komplexität und daher auch größter Laufzeit
 - Laufzeit fast ausschließlich von diesem Modul abhängig

Auslagerung - Grayscale

- Auslagerung für ein Bild der Größe von 400 x 400 Pixel
- Schritte der HLS
 - 1) Änderung der Berechnungsmethode des Intensitätswertes auf integerbasierende Methode
 - $\text{output}[\text{index}] = (30 * r + 59 * g + 11 * b) / 100$
 - 2) Pipelining der inneren Schleife
 - 3) Pipelining der äußeren Schleife & Ausrollen der inneren Schleife

Auslagerung - Grayscale

Tabelle 2: Auswertung der Synthese des Grayscale für ein 400 x 400 Pixel großes Bild

	Keine	Integerbasierte Berechnung	Pipelining d. inneren Schleife	Pipelining d. äußeren Schleife
Laufzeit Software [ms]	4,000 ms	4,000 ms	4,000 ms	4,000 ms
Laufzeit [ms]	26,404 ms	3,204 ms	0,800 ms	0,002 ms
Speedup	0,15	1,25	5	2.000
BRAM 18K	0 (0%)	640 (35%)	640 (35%)	1.600 (88%)
DSP48E	25 (1%)	3 (0%)	4 (0%)	1.200 (48%)
FF	2.837 (1%)	332 (0%)	445 (0%)	80.190 (15%)
LUT	3.017 (1%)	374 (0%)	466 (0%)	64.599 (24%)
FPGA-Ressourcen	1%	9%	9%	44%
Speedup ÷ FPGA- Ressourcen	15	13,89	55,56	4.545,45

Auslagerung - Grayscale

- Begrenzender Faktor ist der BRAM
- Sehr hoher Speedup mit sehr hohem Ressourcenaufwand
- Herausforderungen für größere Bilder (ab 800x800 Pixel)
 - Es müssen Puffer für das Eingabefeld verwendet werden, um den BRAM-Verbrauch zu verringern
 - Die innere Schleife kann nicht mehr vollständig ausgerollt werden
 - Der Speedup gegenüber der Softwarelösung wird kleiner

Auslagerung - CHT

- Auslagerung für ein Bild der Größe von 400 x 400 Pixel
- Akkumulatorfeld in Software als *unsigned int* (32 Bit) implementiert, in Hardware als *uint9*
→ 10,08 Mb BRAM benötigt
- Schritte der HLS
 - 1) Pipelining der Bresenham Schleife (Teil des Votingverfahrens)
 - Zyklische Partitionierung des Akkumulatorfeldes mit Faktor 8
 - Setzen der DEPENDENCE Direktive, um falsche Datenabhängigkeiten zu kennzeichnen
 - 2) Pipelining der Clearing Schleife
 - 3) Pipelining der Initialisierung des Akkumulatorfeldes
 - Ausrollen der Initialisierungsschleife des Akkumulatorfeldes mit einem Faktor von 16

Auslagerung - CHT

Tabelle 3: Auswertung der Synthese der CHT für ein 400 x 400 Pixel großes Bild

	Keine	Pipelining d. Bresenham	Pipelining d. Clearing	Pipelining d. Initialisierung
Laufzeit Software [ms]	1.044,00 ms	1.044,00 ms	1.044,00 ms	1.044,00 ms
Laufzeit [ms]	527.762,90 ms	251.732,43 ms	134,70 ms	123,85 ms
Speedup	0,002	0,004	7,75	8,43
BRAM 18K	681 (37%)	686 (37%)	686 (37%)	686 (37%)
DSP48E	6 (0%)	14 (1%)	19 (1%)	19 (1%)
FF	1.674 (0%)	3.035 (1%)	3.932 (1%)	3.911 (1%)
LUT	2.699 (1%)	6.588 (2%)	8.651 (3%)	8.764 (3%)
FPGA-Ressourcen	10%	10%	11%	11%
Speedup ÷ FPGA-Ressourcen	0,02	0,04	70,45	76,74

Auslagerung - CHT

- Anzahl der benötigten Schleifendurchläufe oft unbekannt oder bei inneren Schleifen variabel
→ Kein Ausrollen der inneren Schleifen und damit kein Pipelining der äußeren Schleifen möglich
- Verwendung von Puffern für Akkumulator zur Verringerung des BRAM-Verbrauchst bei größeren Bildern (ab 800 x 800 Pixel)

Evaluation

- Zur Evaluierung wurden Messdaten für vier verschiedene Bildgrößen aufgenommen
 - 200 x 200
 - 400 x 400
 - 800 x 800
 - 1.200 x 1.200
- Zur Implementierung des Akkumulatorfeldes wurde für alle Größen ein zweidimensionaler *Memory Window Buffer* verwendet, um den Speicherplatzbedarf zu reduzieren
 - BRAM ist damit für Bildgrößen bis 5.793 x 5.793 Pixel (33,56 Megapixel) ausreichend
 - Ladezeiten können für gegebene Bildgrößen durch eine ausreichende Puffergröße kaschiert werden

Evaluation

Tabelle 4: Laufzeit und Speedup der von der HLS erzeugten Hardware

	200 x 200	400 x 400	800 x 800	1.200 x 1.200
Laufzeit [ms]	32,00	123,85	1.080,42	4.172,64
Benötigte Ladezeit [ms]	0,6	4,26	33,13	106,98
Laufzeit + Ladezeit [ms]	32,6	128,11	1.113,55	4.279,62
Laufzeit Software [ms]	94,00	1.044,00	24.759,00	274.957,00
Speedup	2,88	7,81	22,23	64,25

Evaluation

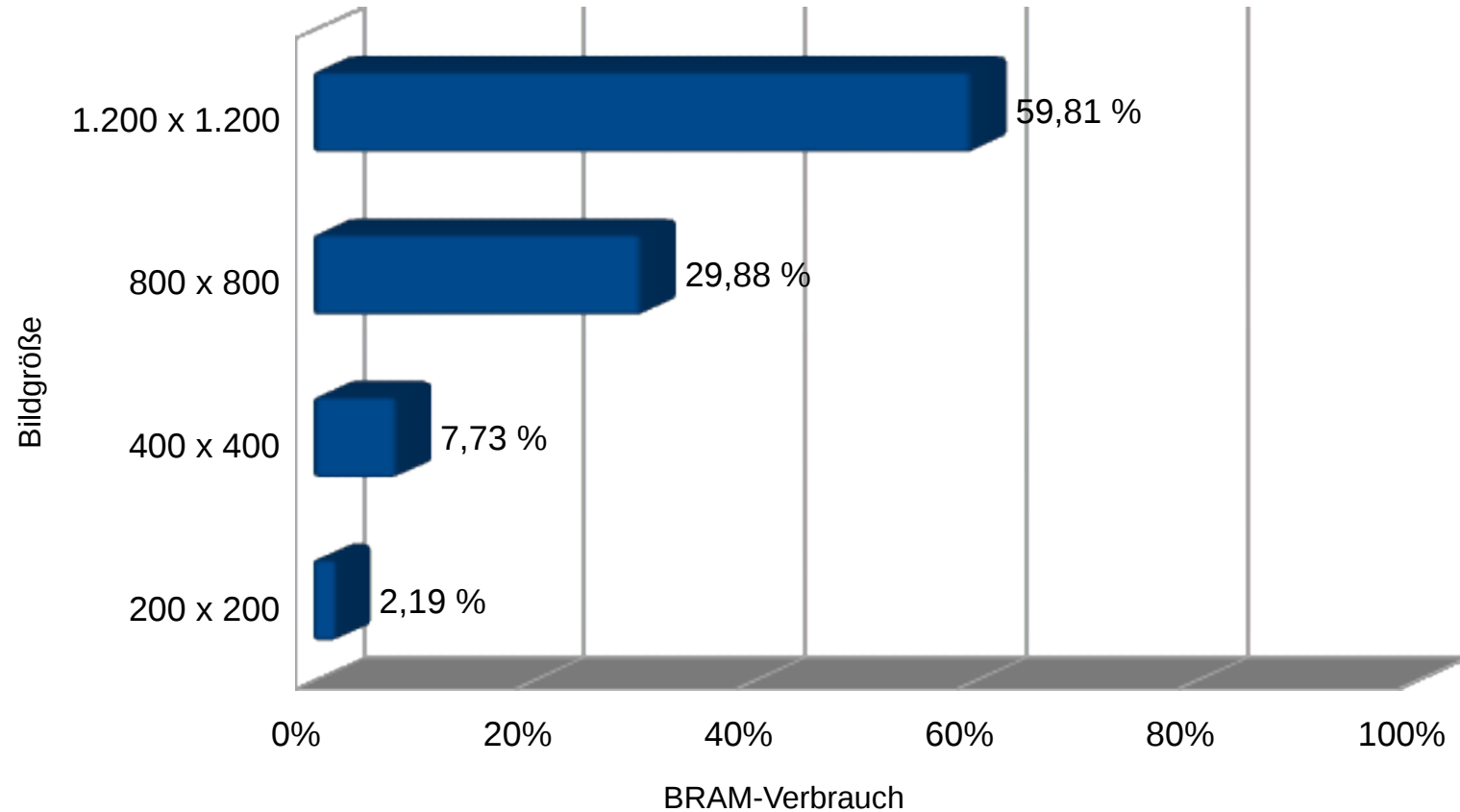


Abb. 11: BRAM Verbrauch der erzeugten Hardware

Evaluation

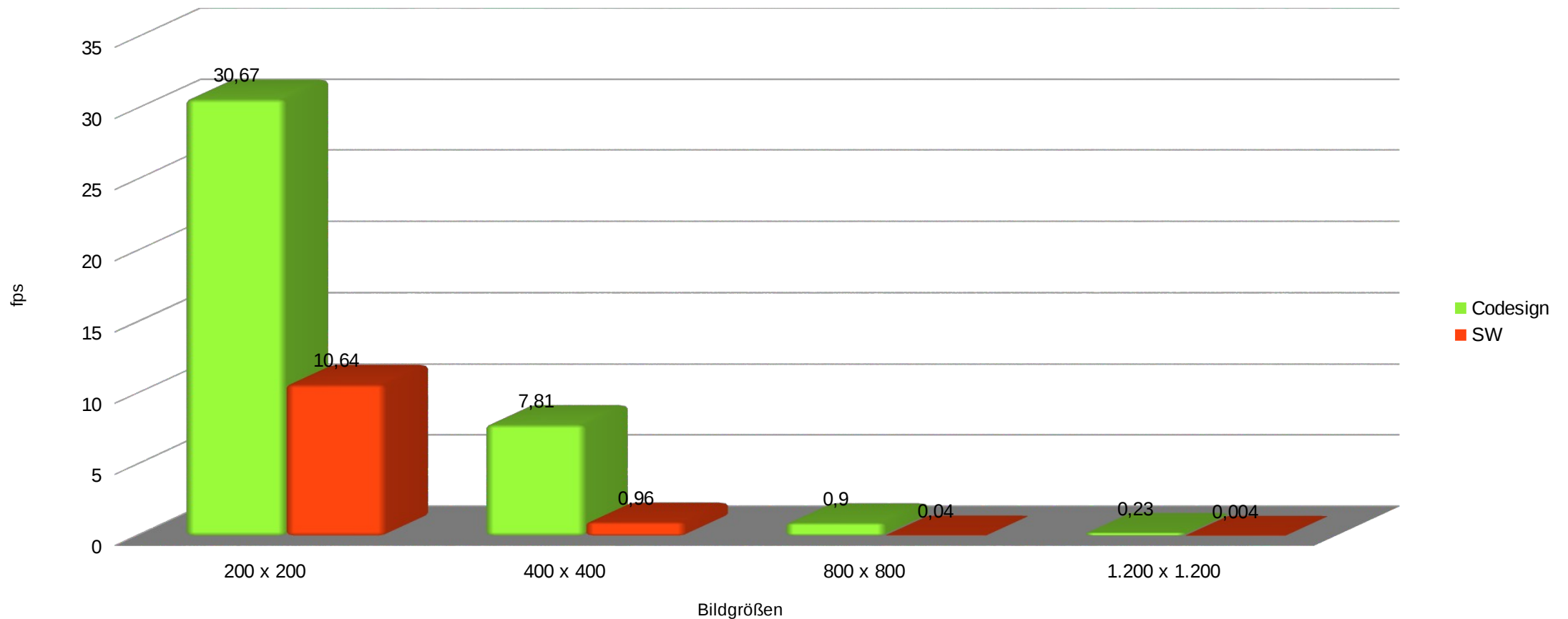


Abb. 12: fps-Vergleich zwischen Codesign und Software

Evaluation

- Echtzeitfähigkeit nur für die Bildgröße von 200 x 200 Pixel gegeben
- Für die betrachteten Bildgrößen sind noch FPGA-Ressourcen frei
→ Potential für weitere Optimierung, dazu muss allerdings Code umgeschrieben werden
- Großer Speedup bei größeren Bildern, da Softwarelösung einbricht
- Realistische Speedupwerte bei Bildern der Größe von 200 x 200 und 400 x 400

Fazit

- Das Zynq Ultrascale+ MPSoC eignet sich gut für die Umsetzung eines Hardware/Software Codesigns
 - Das Board bietet mit CPU und FPGA die Grundvoraussetzungen
 - Die von Xilinx bereitgestellte Software eignet sich gut für die HLS
 - Das resultierende Design kann über die Software einfach auf den FPGA und die CPU aufgespielt werden
 - Probleme ergaben sich bei dem Versuch das Codesign über ein Betriebssystem zu starten. Treiber müssen hierfür manuell angepasst werden
- Durch Implementierung der HT in Hardware geht Flexibilität verloren (Parameter müssen invariabel implementiert werden)
- Die Hough Transformation kann mit den implementierten Optimierungen für größere Bilder nicht mehr in Echtzeit realisiert werden
- BRAM ist begrenzender Faktor für die Optimierung des Designs

Ausblick

- Weitere Optimierungsmöglichkeiten
 - Umschreiben der Softwarelösung, um feste Iterationsgrenzen zu bekommen
→ Pipelining und Ausrollen von weiteren Schleifen möglich
 - Realisierung des Eingabefeldes für die CHT als *uint1*
→ Einsparung von BRAM
- Offene Fragen:
 - Warum genau bricht Softwarelösung ein? Welche Möglichkeiten gibt es noch, um diese weiter zu Beschleunigen?
 - Kann Hough Transformation auch für hochauflösende Bilder auf Echtzeit beschleunigt werden?

Quellen

- [1] Go-Spielbrett: <https://www.japanwelt.de/media/image/go-spiel.jpg>, 30.05.2018
- [2] Euro-Münzen: <http://www.historia-hamburg.de/media/product/1ec/19-x-1-euro-satz-aus-19-euro-staaten-511.jpg>, 30.05.2018
- [3] Ahmad, Ijaz; Moon, Inkyu ; Shin, Seok J.: Color-to-grayscale algorithms effect on edge detection – A comparative study. In: *Electronics, Information, and Communication (ICEIC), 2018 International Conference on IEEE*
- [4] Burger, Wilhelm ; Burge, Mark J.: *Principles of Digital Image Processing: Core Algorithms*. London : Springer, 2009. – ISBN 978-1-84800-194-7
- [5] Burger, Wilhelm; Burge, Mark J.: *Principles of Digital Image Processing: Fundamental Techniques*. London : Springer, 2009. – ISBN 978-1-84800-190-9
- [6] Burger, Wilhelm; Burge, Mark J.: *Digital Image Processing – An Algorithmic Introduction Using Java*. 2. London : Springer, 2016. – ISBN 978-1-4471-6683-2
- [7] Bresenham, Jack: *A Linear Algorithm for Incremental Digital Display of Circular Arcs*. (1977), S. 100–106

Quellen

- [8] Coussy, Phillipe ; Gajski, Daniel D. ; Meredith, Michael ; Takach, Andres: *An Introduction to High-Level Synthesis*. (2009), S. 8-17
- [9] Hauck, Scott (Hrsg.) ; André, DeHon (Hrsg.): *Reconfigurable Computing*. Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2008. – ISBN 978-0-12-370522-8
- [10] Ha, Soonoi ; Teich, Jürgen: *Handbook of Hardware/Software Codesign*. Dordrecht : Springer, 2017. – ISBN 978-94-017-7267-9
- [11] Kanan, Christopher ; Cottrell, Garrison W.: *Color-to-Grayscale: Does the Method Matter in Image Recognition*. (2012)
- [12] *Fahrerassistenzsysteme im Visier*. Markt & Technik (Mai 2008)
- [13] Martin, Christian: *Einführung in die Rechnerarchitektur*. Leipzig : Fachbuchverlag Leipzig, 2003. – ISBN 978-34-462-2242-7
- [14] Xilinx (Hrsg.): *Vivado Design Suite User Guide*. San Jose: Xilinx, 2014

Quellen

- [15] Xilinx (Hrsg.): *Processor System Reset Module v5.0*. San Jose: Xilinx, 2015
- [16] Xilinx (Hrsg.): *AXI Interconnect v2.1*. San Jose: Xilinx, 2017
- [17] Xilinx (Hrsg.): *ZCU102 Evaluation Board User Guide*. San Jose: Xilinx, 2017
- [18] Xilinx (Hrsg.): *UltraScaleArchitecture and Product Data Sheet: Overview*. San Jose: Xilinx, 2018
- [19] Xilinx (Hrsg.): *Zynq UltraScale+ MPSoC Processing System v3.2*. San Jose: Xilinx, 2018