

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

Zwischenpräsentation der Bachelorarbeit

Dominik Weinrich
dominik.weinrich@tu-dresden.de

Dresden, 31.05.2018

Gliederung

- Aufgabenstellung
- Motivation
- Fortschritt
- Implementierung
- Herausforderungen
- Bisherige Ergebnisse
- Geplantes HW/SW Codesign
- 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 hochgradig parallelen, rechenintensiven Aufgaben mittels FPGA oftmals notwendig, um Aufgaben echtzeitfähig zu machen



Abb. 1: Go-Spielbrett [1]



Abb. 2: Euromünzen [2]

Fortschritt

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

Zwischenstand

✓	
✓	
✓	
✓	
✓	
	✗
	✗

Implementierung

- Sprache: **C**
- Benutzte Bibliotheken/APIs:
 - **SDL2**
 - **Kann verschiedene Bildformate laden**
 - **Leichter Zugriff auf die Roh-Pixeldaten**
 - **OpenMP**
 - **Einfache Möglichkeit zur Parallelisierung des Codes**
 - **Über das Compilerflag -fopenmp kann leicht eine parallele und eine serielle Version erstellt werden**
- Modularer Aufbau für eine leichtere Anpassung für die HLS

Implementierung - Main

- Liest Argumente ein und wertet diese aus
- Initialisiert SDL2 und lädt Pixeldaten des Bildes in ein Array
- Ruft die folgenden Funktionen auf und misst deren Laufzeit
 - **uint8_t* grayscale(uint32_t* input, ...);**
 - **uint8_t* gauss(uint8_t* input, ...);**
 - **uint8_t* canny(uint8_t* input, ...);**
 - **circle* hough(uint8_t* input, ...);**
- Gibt Anzahl der gefundenen Kreise aus und zeichnet diese mit dem Bresenham Algorithmus
- Enthält weitere Hilfsfunktionen

Implementierung - Grayscale

- Wandelt ein 32 Bit Farbbild in ein 8 Bit Graustufenbild um
- Berechnet Farbanteile (r, g, b) des Pixels und addiert diese gewichtet zu einem Intensitätswert auf



Abb. 4: Eingabebild [2]

$$I=0.3 \cdot r+0.59 \cdot g+0.11 \cdot b$$



Abb. 5: Ausgabebild

Implementierung - Gauss-Filter

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

- Ein Gauss-Filter vermischt benachbarte Pixel miteinander → eliminiert Bildrauschen
- Wendet dazu einen Filterkernel der Größe **k** auf einen Bildausschnitt der Größe **k** an
- Besondere Betrachtung für Randpixel
- Zur Beschleunigung dazu wird der Filterkernel in zwei eindimensionale Kernel zerlegt, welche nacheinander angewandt werden

$$\frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} * \frac{1}{4} (1 \quad 2 \quad 1)$$

Implementierung - Gauss-Filter



Abb. 6: Eingabebild



Abb. 7: Ausgabebild

Implementierung – Canny Edge Detection

- Findet Kanten mithilfe eines Gradientenfilters
- Sobelfilter ist gängigstes Filter

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Anwendung des Sobeloperators auf jedes Pixel in x- und y-Richtung → Gradientenbilder
- Die Kantenstärke berechnet sich dann über den euklidischen Betrag der partiellen Ableitungen

$$g(x, y) = \sqrt{g_x(x, y)^2 + g_y(x, y)^2}$$

- Die Richtung der Kante berechnet sich über den Arkustangens

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{g_y(x, y)}{g_x(x, y)} \right)$$

Implementierung – Canny Edge Detection

- Durchführung einer Non-maximum suppression
 - Laufe über die Kante und Vergleiche Pixelwert mit benachbarten Werten
 - Setze Wert auf 0, wenn kleiner als einer der zwei Nachbarn
- Durchführung einer Hysterese
 - Schau für jedes noch nicht gesetzte Pixel, ob Wert größer als **high_threshold** ist; Falls ja → Setze Pixel
 - Laufe in positiver und negativer Richtung entlang der Kante und schau, ob die Werte größer **low_threshold** sind; Falls ja → Setze Pixel

Implementierung – Canny Edge Detection



Abb. 8: Eingabebild

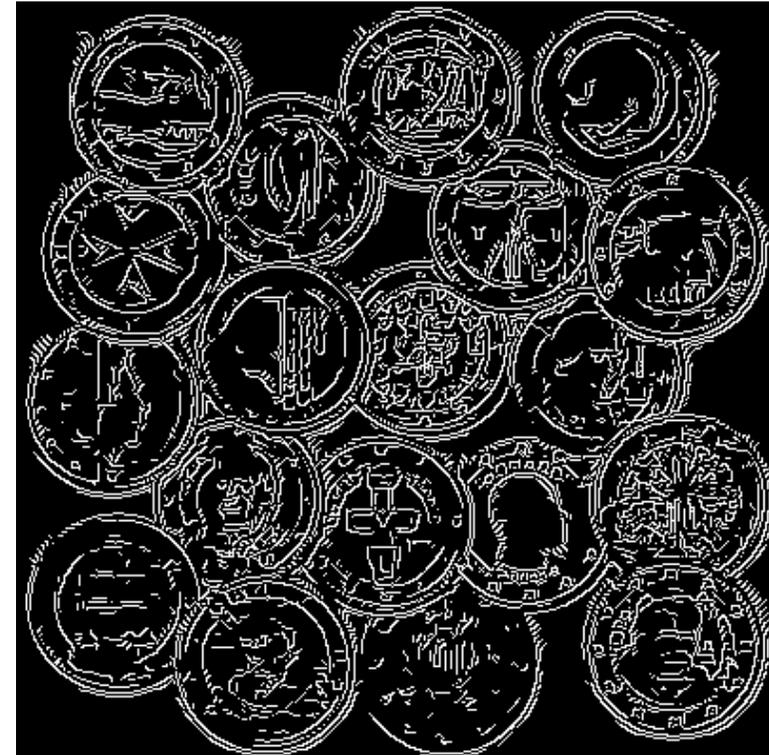


Abb. 9: Ausgabebild

Implementierung – Circle Hough Transformation

- Verwendet für Kreise 3D Votingmatrix $A[x, y, r]$
- Prüfe jedes Pixel, ob es gesetzt ist
 - Falls Pixel gesetzt, inkrementiere alle Punkte in Votingmatrix, die Mittelpunkt zu jeweiligem Pixel sein könnten (Bresenham)
- Finde maximale Werte in Votingmatrix und lege gefundene Kreise in einem Array ab

Implementierung – Circle Hough Transformation

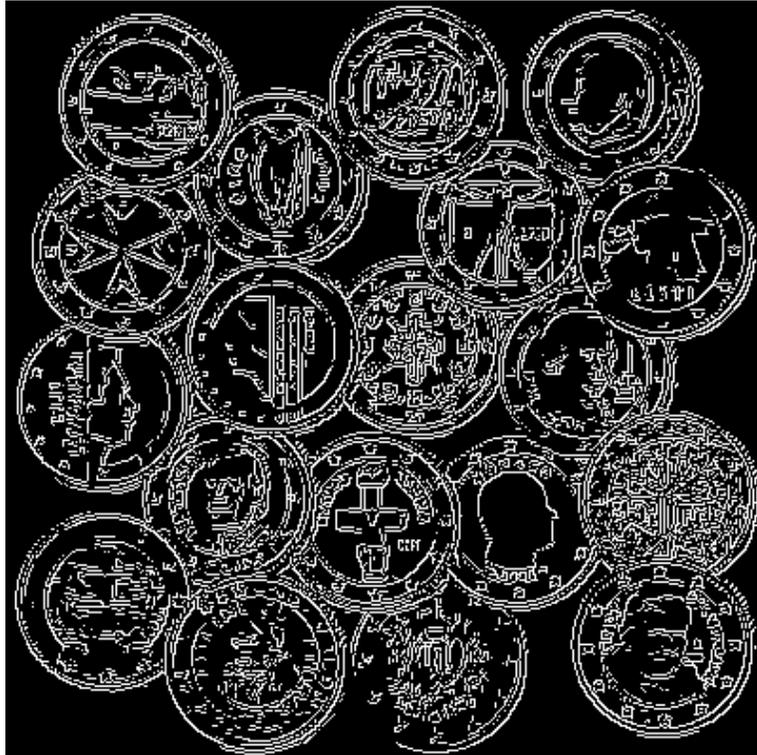


Abb. 10: Eingabebild

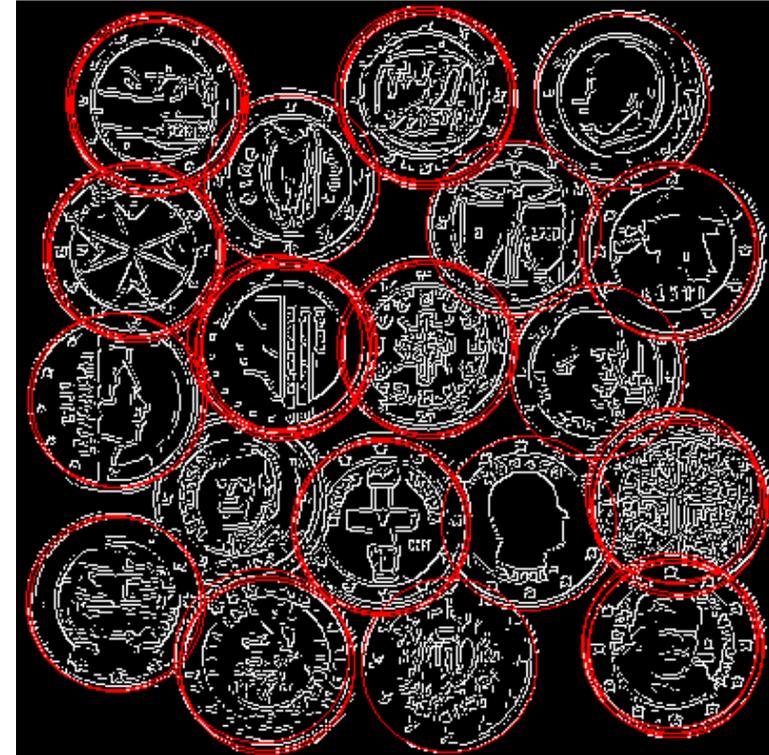


Abb. 11: Ausgabebild

Herausforderungen

- Erkennung von Objekten mit verschiedenen Radien
 - Lösungsansatz: Bias compensation
- Mehrfache Erkennung des selben Objekts
- Es werden viele Parameter benötigt, welche mühsam gesucht werden müssen
 - Möglicher Ansatz: Automatische Parameterbestimmung über neuronale Netze (nicht Teil der Arbeit)

Bisherige Ergebnisse – OpenMP

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough -i euro_s.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50 -H
60 -k 3
Dimensions: (200x200)
3 ms needed for grayscale.
12 ms needed for gauss filter.
62 ms needed for canny edge detector.
61 ms needed for hough transform.
-----
138 ms needed total.
16 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 12: (200x200)

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough -i euro.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50 -H 6
0 -k 3
Dimensions: (400x400)
12 ms needed for grayscale.
45 ms needed for gauss filter.
249 ms needed for canny edge detector.
254 ms needed for hough transform.
-----
560 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 14: (400x400)

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough -i euro_l.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50 -H
60 -k 3
Dimensions: (1200x1200)
110 ms needed for grayscale.
423 ms needed for gauss filter.
2257 ms needed for canny edge detector.
1011 ms needed for hough transform.
-----
3801 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 16: (1200x1200)

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough_omp -i euro_s.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 5
0 -H 60 -k 3
Dimensions: (200x200)
1 ms needed for grayscale.
4 ms needed for gauss filter.
23 ms needed for canny edge detector.
21 ms needed for hough transform.
-----
49 ms needed total.
16 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 13: (200x200) - OMP

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough_omp -i euro.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50
-H 60 -k 3
Dimensions: (400x400)
4 ms needed for grayscale.
16 ms needed for gauss filter.
89 ms needed for canny edge detector.
85 ms needed for hough transform.
-----
194 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 15: (400x400) - OMP

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough_omp -i euro_l.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 5
0 -H 60 -k 3
Dimensions: (1200x1200)
33 ms needed for grayscale.
150 ms needed for gauss filter.
808 ms needed for canny edge detector.
366 ms needed for hough transform.
-----
1357 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 17: (1200x1200) - OMP

Bisherige Ergebnisse – OpenMP

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough -i euro_xl.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50 -H 60 -k 3
Dimensions: (4000x4000)
1218 ms needed for grayscale.
5037 ms needed for gauss filter.
24962 ms needed for canny edge detector.
1931 ms needed for hough transform.
-----
33148 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 18: (4000x4000)

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough -i euro.png -r 47 -R 49 -h 100 -l 25 -H 120 -k 5
Dimensions: (400x400)
12 ms needed for grayscale.
68 ms needed for gauss filter.
249 ms needed for canny edge detector.
1551 ms needed for hough transform.
-----
1880 ms needed total.
18 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 20: (400x400) - Param

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough_omp -i euro_xl.png -r 24 -R 24 -h 150 -l 50 -H 60 -k 3
Dimensions: (4000x4000)
365 ms needed for grayscale.
2172 ms needed for gauss filter.
9603 ms needed for canny edge detector.
691 ms needed for hough transform.
-----
12831 ms needed total.
0 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 19: (4000x4000) - OMP

```
dom@linaro-gnome: ~/hough/Code
Datei Bearbeiten Ansicht Suchen Terminal Hilfe
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$ ./hough_omp -i euro.png -r 47 -R 49 -h 100 -l 25 -H 120 -k 5
Dimensions: (400x400)
3 ms needed for grayscale.
24 ms needed for gauss filter.
90 ms needed for canny edge detector.
559 ms needed for hough transform.
-----
676 ms needed total.
18 circles found.
dom@linaro-gnome:~/hough/Code$
```

Abb. 21: (400x400) – Param & OMP

Bisherige Ergebnisse – OpenMP

Größe	Speedup
(200x200)	138ms / 49ms = 2,8163
(400x400)	560ms / 194ms = 2,8866
(1200x1200)	3801ms / 1357ms = 2,801
(4000x4000)	33148ms / 12831ms = 2,5834
(400x400) – andere Parameter	1880ms / 676ms = 2,7811

- Das Testboard hat einen ARM Cortex-A53 64 Bit Quad Core Prozessor
- Durch eine Parallelisierung mittels OpenMP wird momentan ein 2,6 bis 2,9 facher Speedup erzielt

Geplantes HW/SW Codesign

- Durchführung der HLS für alle einzelnen Komponenten der Hough Transformation
- Auslagern einzelner Komponenten auf den FPGA
- Implementierung eines Controllers, welcher mit FPGA kommuniziert
- Testen, welche Komponenten einen Geschwindigkeitsvorteil erbringen

Ausblick

- Für eine bestimmte Problemgröße n soll eine hybride Lösung für eine Hough Transformation erzeugt werden
- Die hybride Lösung besteht aus Hardware- und Softwarekomponenten und soll einen Speedup gegenüber der parallelen Softwarelösung haben

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: Fundamental Techniques*. London : Springer, 2009. - ISBN 978-1-84800-190-9
- [5] Burger, Wilhelm; Burge, Mark J.: *Digital Image Processing – An Algorithmic Introduction Using Java. 2.* London : Springer, 2016. - ISBN 978-1-4471-6683-2
- [6] Kanan, Christopger; Cottrell, Garrison W.: Color-to-Grayscale: Does the Method Matter in image Recognition