

# **nine-mans-morris**

## **EDBV WS 2018/2019: AG\_C3**

Tobias Batik (11701221)  
Bougouma Fall (01427956)  
Yannic Ellhotka (11776168)  
Lisalotte Tscherteu (0271430)  
Simon Wesp (11709457)

6. Januar 2019

## **1 Gewählte Problemstellung**

### **1.1 Ziel**

Bildserie eines Mühlespieles einlesen. Den aktuellen Spielstand erkennen und überprüfen ob das Spiel regelkonform gespielt wurde.

### **1.2 Eingabe**

Folge von Farbbildern des Spielbrettes.

### **1.3 Ausgabe**

Aktueller Spielstand in der Konsole.

Alle eingelesenen Spielzüge und deren Spielstand als Textdatei.

Kontrolle ob ein Spiel regelkonform gespielt wurde.

### **1.4 Voraussetzungen und Bedingungen**

Bilder müssen annähernd in Vogelperspektive aufgenommen werden ( $\pm 30$  Grad).

Das Spielbrett muss die in der Grafik dargestellten relativen Maßeinheiten erfüllen (siehe Abbildung 1). Der Hintergrund der Spielfelder muss ausreichend Kontrast zu den weißen sowie schwarzen Spielsteinen aufweisen.

Die verwendeten Spielsteine haben einen Durchmesser von Breite des Spielfeldes  $\cdot 0.08$ .

Steine müssen eindeutig auf den vorgesehenen Punkten liegen.

Die Ecken des Spielfeldes und die Spielsteine dürfen nicht durch andere Gegenstände verdeckt werden.

Kein anderer runder Gegenstand mit dem selben Radius wie die Spielsteine, darf auf den Spielfeld liegen.



Abbildung 1: Relative Spielfelddimensionen.

## 1.5 Methodik

1. Threshold
  - a. Input: rgb Bild des Spielfeldes
  - b. Output: Eckpunkte des Spielfelder, Binärbild
2. Geometrische Transformation
  - a. Input: rgb Bild des Spielfeldes und Koordinaten der Eckpunkte des Spielfeldes
  - b. Output: entzerrtes 500 x 500 Pixel rgb Bild
3. Canny
  - a. Input: entzerrtes 500 x 500 Pixel rgb Bild
  - b. Output: Kantenbild
4. Hough-Transformation
  - a. Input: Kanten-Bild des entzerrten Spielfeldes
  - b. Output: Koordinaten der Mittelpunkte der Spielsteine
5. Spielstand erkennung
  - a. Input: Koordinaten der Mittelpunkte der Spielsteine und rgb Bild des entzerrten Spielfeldes
  - b. Output: 3x3x3 Array das den aktuellen Spielstand repräsentiert
6. XXXXXXXX Algorithmus Zug berechnen Stimmt nicht mehr
  - a. Input: Array des aktuellen Spielstands
  - b. Output: Vorgeschlagener naechster Zug

## 1.6 Evaluierungsfragen

1. Wird das Spielfeld richtig eingelesen?
2. Wird ein gültiges Spiel als solches erkannt?

## 1.7 Zeitplan

Meilenstein	abgeschlossen am		Arbeitsaufwand in h	
	geplant	tatsächlich	geplant	tatsächlich
Prototype, prof of konzept	14.11	28.11	X	15
Datenbank 1 aufbauen	1.12	26.11	10	10
Framework	15.10	2.10	X	10
Threshold und Eckenerkennung	15.11	21.11	30	...
Geometrische Transformation	29.11	5.12	70	...
Canny Kantenerkennung	12.12	16.12	25	35
Hough Kreiserkennung	30.12	22.12	30	35
Spielstanderkennung	24.12	28.12	25	25
Analyse des Spielzüge	15.12	5.1	...	...
Datenbank 2 aufbauen	X	4.1	...	...
textueller Output	28.12	3.1	..	...
Analyse & Evaluierung	X	6.1	X	10
Bericht	6.1	6.1	40	45

## 2 Arbeitsteilung

Name	Tätigkeiten
Tobias Batik	Matlab-Funktionen: hough, teilweise findStein; Bericht Abschnitt: 3.5, 4.5, 5.2.1
Bougouma Fall	Matlab-Funktion C, Bericht Abschnitt D...
Yannic Ellhotka	Matlab-Funktion: threshold, canny; Bericht Abschnitt 3.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.4
Lisalotte Tscherteu	Matlab-Funktion: findStein.m, hough teilweise; Bericht Abschnitt 4.6, Plakat
Simon Wesp	Matlab-Funktion: threshold, canny; Bericht Abschnitt 3.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.4

## 3 Methodik

### 3.1 Threshold und Eckenerkennung

Beim Thresholding werden die Ecken des Spielfeldes aus dem Bild gesucht. Dafür müssen die Pixel, die weiß sind und die kleinsten/größten Koordinaten haben, herausgefunden werden. Es gibt aber immer wieder einzelne Ausbreisser im Bild - das kann von ISO-Noise, toten Pixeln am Kamerasensor oder Ähnlichem kommen. Deswegen wird vor der

Eckenerkennung mit einem quadratischen Element über das Bild erodiert. So werden kleine Unregelmäßigkeiten ausgegült und das Ergebnis genauer. Der Threshold selbst dient dazu, das helle Spielfeld vom Hintergrund abzuheben - ist er richtig gewählt, ist es einfach, die ersten/letzten weißen Pixel im Bild zu finden.

### 3.2 Canny

Die Kantenerkennung des Spielfelds funktioniert mit dem Canny-Algorithmus. Hier wird das entzerrte Bild eingelesen, danach wird ein Sobel-Filter angewendet. Dadurch werden die Kanten in X- und Y-Dimension sichtbar. Die kombinierte Kanten ergibt sich aus der Quadratwurzeln der beiden Sobel-Ergebnisse. Der Winkel einer Kante wird über die Matlab-Funktion `atan2` berechnet und danach auf eine von 4 möglichen Richtungen gerundet.

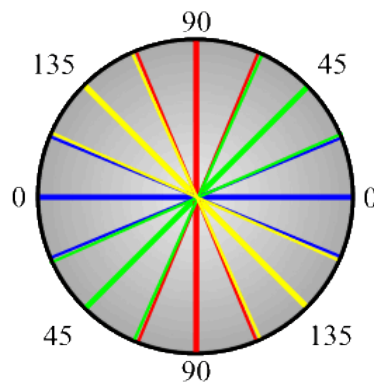


Abbildung 2: Canny-Winkel

Dadurch sind alle „Arten“ von Kanten abgedeckt: horizontal, vertikal und 2 mal diagonal. Die Richtung der Kante ist egal, deswegen kommt man mit 4 Möglichkeiten aus statt 8. Die Winkel werden in 0, 45, 90 & 135 Grad unterteilt.

Danach wird ein Threshold angewendet, um zu schwache Kanten auszufiltern und ein sauberes Bild zu generieren. Allerdings sind die meisten Kanten jetzt noch relativ dick, um damit zu arbeiten sollten sie aber jeweils 1 Pixel breit sein. Dafür gibt es mehrere Ansätze, wir haben uns für die Non-Max Suppression entschieden.

Hier wird abhängig von dem Winkel der Kante in der Umgebung nach Kanten gesucht und stärkste von ihnen ausgewählt. Sie bleibt im Bild, während die anderen, schwächeren Kanten entfernt werden. Konkret heißt das, dass bei einer horizontalen Kante in der vertikalen Umgebung nach stärkeren Kanten gesucht wird - sozusagen nach parallelen Kanten. Die Suchumgebung ist immer der Winkel der Kante um 90 Grad gedreht. [2]

### 3.3 Hough Transformation für Kreise

Zur Erkennung der kreisförmigen Spielsteine im entzerrten Kantenbild kommt eine Hough-Transformation für Kreise zum Einsatz.

Die Kreis-Hough-Transformation ist ein übliches Verfahren zum Erkennen von Kreisen und deren Mittelpunkte. Das Verfahren benötigt zur Erkennung eines Kreises mit dem Radius  $c$  ein Set an Kantenpunkten, die auf dem gesuchten Kreis liegen. [1]

In einem zweidimensionalen Raum kann ein Kreis mithilfe von

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = c^2 \quad (1)$$

beschrieben werden. [3] Wobei der Punkt  $(x, y)$  ein Kantenpunkt auf dem Kreis ist,  $(a, b)$  der Kreismittelpunkt und  $c$  der Radius des Kreises.

Liegt ein Punkt  $(x, y)$  auf einem Kreis im Eingabebild und ist der Radius  $c$  bekannt so können alle potenziellen Kreismittelpunkte  $(a, b)$  mithilfe der oben erwähnten Formel ermittelt werden. Die potenziellen Kreismittelpunkte werden in einem Akkumulator-Array gespeichert. Die Maxima in diesem Array repräsentieren die gefundenen Kreismittelpunkte. [1] Siehe Abbildung 3.

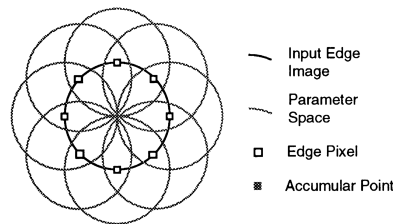


Abbildung 3: Funktion von Hough bei bekanntem Radius[1]

Wenn ein Punkt  $(a, b, c)$  im Hough-Raum ein Maximum ist, so gibt es im Eingabebild einen Kreis mit dem Mittelpunkt  $(a, b)$  und dem Radius  $c$ . Visualisiert man die potenziellen Kreismittelpunkte des Kantenpunktes im dreidimensionalen Hough Raum, so werden diese als gerader Kreiskegel dargestellt. [3]

Der Schnittpunkt  $(a, b, c)$  von Maximal vielen Zylindern repräsentiert den gefundenen Kreismittelpunkt  $(a, b)$  mit dem Radius  $c$ .

## 4 Implementierung

Die Implementierungspipeline sieht so aus, dass zuerst die Eckpunkte des Spielfelds mittels einem Threshold erkannt werden. Die Eckpunkte werden dann verwendet, um das Spielfeld wieder zu einem perfekten Quadrat zu entzerren. Die Kanten des entzerrten Spielfelds werden mithilfe eines Canny Filters erkannt. Dabei sind nur die Kanten der

Spielsteine wichtig, da diese bei der Kreiserkennung verwendet werden. Der nächste Schritt ist, die Anwendung einer Hough Kreiserkennung auf das Canny Kantenbild, um die Position der Spielsteine zu ermitteln. Danach werden mit einer eigens entwickelten Methode die Spielsteine auf ein virtuelles, aus einem  $3 \times 3 \times 3$  Array bestehendes, Spielfeld gelegt. Der letzte Schritt ist der Vergleich von zwei Zügen (Bildern) und das Entscheiden, ob dieser Zug gültig war. Dieser Schritt wird ebenfalls mit einem eigens entwickelten Algorithmus gelöst.

## 4.1 Framework

Das Framework ist so aufgebaut, dass alle 6 Methoden in einer Datei hintereinander, in einer for-Schleife, aufgerufen werden. Die Schleife läuft alle Bilder eines Spiels ab, wobei es egal ist, aus wie vielen Zügen ein Spiel besteht. Jede Methode liest jeweils ein Bild ein, verarbeitet dieses und speichert zum Schluss das verarbeitete Bild wieder ab.

In der Datei „main.m“ kann der User die Variable „game“ in Zeile 2 auf einen positiven Integer ändern, um auszuwählen welches Spiel analysiert werden soll. Ein weiterer Parameter, der vom User verändert werden kann, ist der Threshold, ebenfalls in der Datei „main.m“. Das Verändern der Variable „threshold“ auf einen Wert zwischen 0 und 1 verändert die Stärke des Thresholds.

Um das Programm zu starten, muss der User lediglich die Datei „main.m“ in Matlab ausführen. Standardmäßig wird das erste Spiel im Datensatz komplett analysiert. Das Ergebnis wird in der Konsole ausgegeben. Dort kann der User sehen, ob und wann unerlaubte Spielzüge auftreten.

## 4.2 Threshold und Eckenerkennung

Diese Methode liest RGB Bilder ein und gibt die 4 Eckpunkte des Spielfelds zurück. Außerdem wird das threshold Bild abgespeichert.

Als ersten Schritt wird das eingelesene Bild mittels der Matlab Methode „rgb2gray“ in ein Graustufenbild umgewandelt. Danach wird das Graustufenbild in ein Binärbild, mit der Methode „imbinarize“ und dem vom User definierten threshold Wert, umgewandelt. Das Anwenden dieser 2 Methoden hintereinander hat bei unseren Tests bessere Ergebnisse erzielt als das alleinige Anwenden der Methode „imbinarize“. Um das Bild etwas zu säubern wird es anschließend mit einem 4 Pixel breitem kubischen Strukturelement erodiert. Das Ergebnis ist ein Binärbild in dem das Spielbrett weiß ist und der Hintergrund schwarz.

Mithilfe des Binärbildes können die Eckpunkte ermittelt werden. Es wird die Methode „find“ in Kombination mit „min“ und „max“ verwendet, um jeweils das erste und letzte weiße Pixel in einer Reihe und Spalte zu finden. Die roten Striche in dem nachfolgenden Bild sind jeweils auf Höhe des ersten weißen Pixels in +x, -x, +y und -y Richtung. Mithilfe von „min“ und „max“ können bei Koordinate der 4 Eckpunkte errechnet werden. Diese werden in einem Array abgespeichert und zurückgegeben.

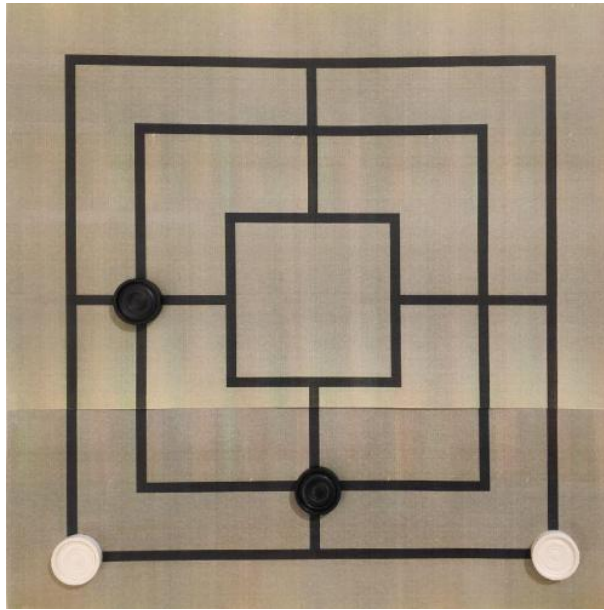


Abbildung 4: Spielfeld entzerrt

### 4.3 Geometrische Transformation

Diese Methode liest das originale RGB Bild ein und bekommt die 4 Eckpunkte übergeben. Das Ergebnis ist ein 500 x 500 Pixel RGB Bild mit dem entzerrten Spielfeld, wie man es an dem nachfolgenden Bild sehen kann.

Geometrische Transformation ist der Überbegriff für viele verschiedene Anwendungen. In diesem Fall ist aber das entzerren eines perspektivischen Quadrates gemeint. Dazu werden die Eckpunkte des verzerrten Quadrates und die Größe des Quadrates in entzerrter Form benötigt. Nach dem Entzerren wird ein 500 x 500 Pixel Quadrat ausgeschnitten und abgespeichert.

Zuerst muss die Transformationmatrix errechnet werden. Diese wird dann auf das verzerrte Bild angewendet, um dieses zu entzerren. Das Ergebnis ist ein Bild, in dem die 4 vorher definierten Punkte ein perfektes Quadrat bilden.

Die Koordinaten der jeweiligen Pixel ändern sich von Weltkoordinaten in Intrinsische Koordinaten nach der Transformation. Damit man das entzerrte Quadrat an den Eckpunkten ausschneiden kann, müssen die Eckpunkte zuerst in Intrinsische Koordinaten umgewandelt werden. Die Methode „imcrop“ mit den umgewandelten Koordinaten wird verwendet, um das Quadrat auszuschneiden. Das Ergebnis wird abgespeichert.

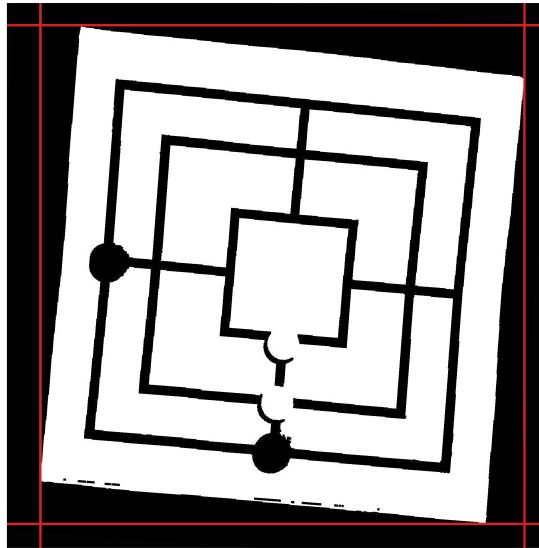


Abbildung 5: Eckenerkennung

#### 4.4 Canny Kantenerkennung

Diese Methode liest ein entzerrte 500 x 500 Pixel RGB Bild ein und Speichert das dazugehörige Kantenbild ab.

Die Kantenerkennung nach Canny besteht aus einer Reihe von Schritten oftmals beginnend mit dem Anwenden eines Gauß'schen Weichzeichners auf das gesamte Bild. Weil das Spielfeld sehr klare Linien und Formen hat würde ein Weichzeichner das Ergebnis kaum verbessern, deshalb wird dieser Schritt in dieser Implementierung ausgelassen.

Der erste Schritt ist das Errechnen der Kantenkraft (wird für spätere Schritte benötigt), auch Magnitude genannt, indem man den Verlauf des Bildes mithilfe einer Sobel Matrix ausrechnet. Dieser Schritt muss jeweils in x- und y-Richtung durchgeführt werden.

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

Gx

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

Gy

Abbildung 6: Sobel Matrix

Die Länge der Hypotenuse der beiden Ankatheten Gx und Gy ist gleichzeitig auch die



Magnitude.

Der nächste Schritt ist das Thresholding. Bei diesem Schritt werden Kantenpixel mit einem schwachen Magnitude Wert ausgefiltert. Das Ergebnis ist ein Kantenbild das nur starke Kanten enthält.

Der Letzte Schritt ist das Thinning, bei dem die Dicke der erkannten Kanten auf ein Pixel reduziert wird. Dies wird durch Non-Maximum-Supression erreicht. Dabei wird abhängig von dem Winkel der Kante in der Umgebung nach weiteren Kanten gesucht, um anschließend die „stärkste“ Kante auszuwählen. Die schwächeren Kanten werden dann gelöscht, wodurch die Dicke auf 1 Pixel reduziert wird.

## 4.5 Hough Kreiserkennung

Die Funktion *hough* findet die Kreismittelpunkte von Kreisen mit einem Radius  $r$ ,  $radiusMin \leq r \leq radiusMax$  und gibt diese als  $n*2$  Matrix zurück. Um die Kreismittelpunkte zu finden liest die Funktion das Kantenbild des aktuellen Spieles und Spielzuges ein.

Die Funktion *hough* ruft für alle ganzzahligen Radien ( $radiusMin \leq r \leq radiusMax$ ) die Funktion *houghFixedRadius* auf und speichert alle gefundenen Mittelpunkte, unabhängig des Radiuses, in einer einzigen Matrix. Der Radius wird nicht gespeichert da er für nächsten Schritte irrelevant ist.

In der Funktion *HoughFixedRadius* wird über jedes Pixel des Kantenbildes iteriert. Falls das Pixel den Wert 1 hat, also ein Kantenpixel ist, werden  $m$  viele potenzielle Kreismittelpunkte  $(hy, hx)$  abgeschlagen. Diese Punkte berechnen sich durch:

$$x_h = x + radius * \cos(t) \quad (2)$$

$$y_h = y + radius * \sin(t). \quad (3)$$

Wobei  $t = (2\pi/m) * i$  ist. Im zweidimensionalen Hough-Raum wird an der Stelle  $(y_h, x_h)$  der Wert um eins erhöht. Siehe Abbildung 7.

Anschließend wird das Array auf Maxima untersucht. Da mehrere Kreise gefunden werden müssen, ist es nicht ausreichend das Array auf das Feld mit dem maximalen Wert zu bestimmen. Deshalb wird vom User der Wert *minHoughValue* gesetzt (zwischen 0 und 1). Umso niedriger dieser Wert ist, umso mehr Kreise werden gefunden. Es steigt jedoch auch die Fehleranfälligkeit. Ist der Wert *minHoughValue* = 0 so wird jedes Feld im Hough-Raum als Kreismittelpunkt gedeutet deren Wert  $\geq 0$  ist. Ist *minHoughValue* = 1 so werden nur jene Felder als Kreismittelpunkte aufgefasst deren Wert  $\geq amountCenterPoints$  ist. Falls ein Feld im Hough-Raum als Kreismittelpunkt aufgefasst wird, wird diese Position in einem Array gespeichert.

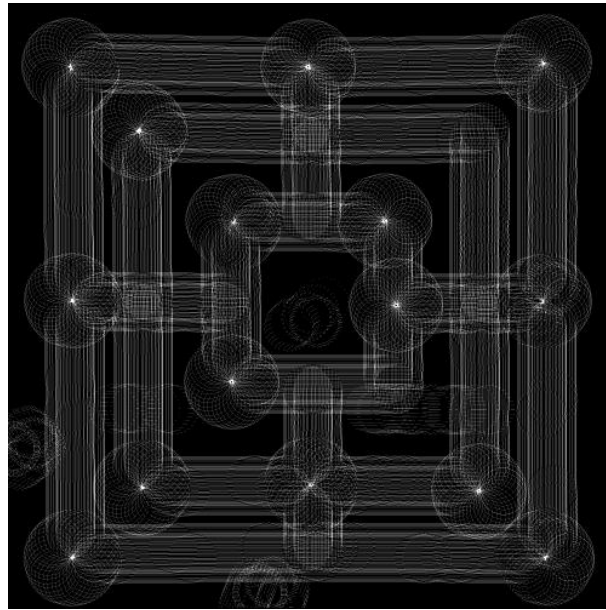


Abbildung 7: Hough-Raum bei Radius = 20px

Falls der Wert `amountCenterPoints` niedrig gewählt wurde oder das eingelesene Kantenbild teilweise fehlerhaft ist. So kann es passieren das mehrer (leicht unterschiedliche) Kreismittelpunkte für den selben Kreis gefunden werden. Da nur die Mittelpunkte der Spielsteine relevant sind, wir davon ausgehen das alle Spielsteine annähernd gleich groß sind und dass nie zwei Spielsteine übereinander liegen, können alle gefundenen Kreismittelpunkte  $(y_j, x_j)$  deren Distanz zum Kreismittelpunkt  $(y_i, x_i)$  kleiner als der *Radius* ist gelöscht werden.

Außerdem müssen wir beim Eingabebild voraussetzen, dass kein runder Gegenstand am Spielfeld liegt dessen Radius  $r$   $radiusMin \leq r \leq radiusMax$  ist. Anschließend gibt die Funktion `HoughFixedRadius` alle gefundenen Kreismittelpunkte für den vorgegeben Radius zurück.

Da handelsübliche Mühlesteine aus konzentrischen Kreisen aufgebaut sind, kann es passieren, dass für einen Spielstein der selbe Mittelpunkt für unterschiedliche Radien gefunden wird. Da wir wie oben erwähnt davon ausgehen dass nie zwei Steine übereinander liegen, werden wieder alle doppelt gefundenen Mittelpunkte gelöscht. Mittelpunkte werden als Doppelt angesehen, wenn die Distanz zwischen zwei Mittelpunkten kleiner als der kleinstmögliche Radius ist.

Anschließend wird ein .jpg Bild, auf dem die Kreismittelpunkte weiß markiert sind, sowie ein .txt file mit den Koordinaten der gefundenen Kreismittelpunkte auf dem Eingabebild gespeichert. Die Funktion `Hough` gibt die Kreismittelpunkte als Matrix zurück.

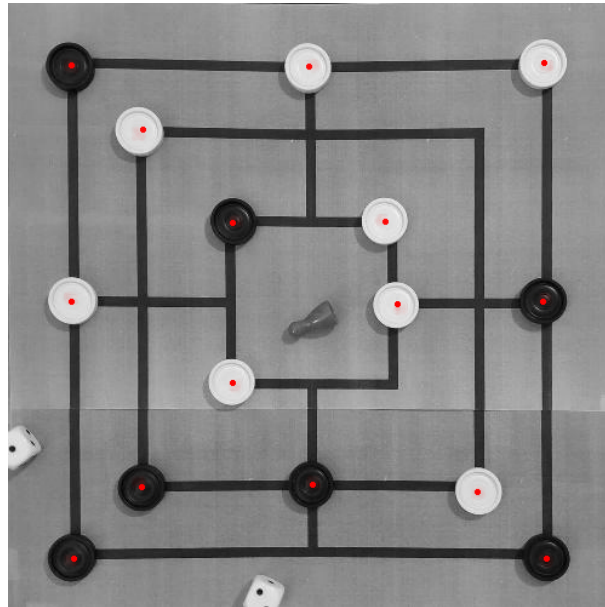


Abbildung 8: Gefundenen Kreismittelpunkte (rot) über dem entzerrten Graustufenbild des Spielfeldes

#### 4.6 findStein.m

Diese Methode nimmt als Eingabeparameter, die bereits von Hough Funktion gefundenen Kreismittelpunkte. Sie vergleicht diese mit den Positionen an denen Mühlesteine platziert werden können.

Wenn sich ein gefundener Mittelpunkt nahe an einer Spielfeldposition, an der Steine abgeleitet werden können, befindet, wird die besetzte Position in einem Array markiert.

Um die Farbe des Steins zu erkennen, wird der Grauwert an der Stelle des von Hough gefundenen Mittelpunkt und vier weiteren umliegenden Punkten verglichen. Zum Vergleich dient ein Schwellwert. Die Farben werden im Array als 1 oder 2 markiert und dann in eine 3x3x3 Matrix, die den Spielfelddimensionen entspricht eingetragen.

Diese Matrix wird dann als txt gespeichert und von der Funktion ausgegeben.

#### 4.7 Spiel Algorithms

### 5 Evaluierung

(2-X Seiten)

Hier stellt ihr Euren Datensatz vor und beantwortet Evaluierungsfragen:

z.B. Fakten zum Datensatz: Anzahl der Bilder, Größe der Bilder, Quelle des Datensatzes (falls selbst aufgenommen: Aufnahmegerät, Einstellungen,... / falls nicht selbst erstellt:

Datenbank vorstellen... → Referenzen!)

Diskussion der Evaluierungsfragen: Beantwortung der Fragen, Diskussion anhand von Beispielen, Diskussion von Grenzfällen: für welche Bilder funktioniert die Implementierung, für welche nicht? Worin unterscheiden sich diese Bilder? Warum funktionieren sie nicht? etc.

Evaluiert wird der ganze Datensatz, nicht nur einzelne Bilder. Einzelne Bilder können zum Aufzeigen von Fehlern/Problemen/besonders guten Ergebnissen... genutzt werden. Zur Evaluierung gehört auch das Testen der einzelnen Methodiken (separat), mit Erwähnung eventueller Einschränkungen.

## 5.1 Datensatz

Anzahl der Bilder: 101 Größe der Bilder: 2000 x 2667 Pixel Quelle des Datensatzes: selbst aufgenommen, Smartphonekamera, regelmäßige Ausleuchtung, keine harten Schatten, einfarbiger Hintergrund.

## 5.2 Evaluierungsfragen

### 1. Wird das Spielfeld richtig eingelesen?

Beim Spiel 1 wurden von 450 Spielsteinen, 2 Spielsteine nicht richtig erkannt. Ein Schwarzer und ein Weißer. Das ist eine Fehlerquote von 0.4 %.

Beim Spiel 2 wurden von 472 Spielsteinen 17 Spielsteine nicht richtig erkannt. Das ist eine Fehlerquote von 3 %. Hier handelt es sich nur um Schwarze Spielsteine, die im oberen Bereich des Spielfeldes platziert wurde. Hier werden zwar die Mittelpunkte der Kreise korrekt erkannt, jedoch können die Steine nicht eindeutig einer Farbe zugeordnet werden. Das liegt an den starken Reflexionen auf den Spielsteinen liegen.

Der Grund warum die Spielsteine im Game 1 schlechter erkannt wurden als im Game 2 liegt nicht an der Perspektive der Bilder, sondern an der veränderten Lichtsituation. Beim Spiel 2 wurde ein härteres und stärkeres Licht verwendet.

Bei Game 3 wurden von 43 Spielsteinen 9 weiße Steine nicht richtig erkannt. Hier ist das Spielfeld weiß und aufgrund des geringen Kontrastes zu den Spielsteinen konnten die Kanten nicht richtig detektiert werden. Die schwarzen Spielsteine wurden allerdings ohne Fehler erkannt.

Bei Game 4 handelt es sich um denselben Datensatz wie bei Game 3. Hier wurde allerdings der Kontrast im Nachhinein erhöht (Photoshop). Aufgrund dieser Bearbeitung wurden nur noch 5 weiße Steine nicht korrekt erkannt. Das ist eine Quote von 11 %.

### 2. Wird ein gültiges Spiel als solches erkannt?

## 6 Schlusswort

(max. 1 Seite)

Hier fasst ihr Ergebnisse Eures Projekt zusammen:

Welche Schlussfolgerung lässt sich ziehen? Gibt es offene Probleme? Wie lässt sich Eure Lösung noch verbessern? etc.

Das Ergebnis unseres Projektes ist ein lauffähiges Matlab-Projekt, das Bilder von Mühle-Spielen, die den den spezifizierten Vorbedingungen entsprechen, auslesen und erkennen kann, ob der getätigte Spielzug gültig ist. Die Ausgabe erfolgt über .txt Dateien. Insgesamt sind wir zufrieden mit unserer Arbeit. Anfangs gab es etwas Verwirrung über die Pipeline, mithilfe unseres Tutors wurde die aber beseitigt. Mit unseren Vorbedingungen lassen sich die Bilder gut auslesen, natürlich könnte man diese weiter verkleinern, indem man an den Algorithmen feilt.

## Literatur

- [1] Tim J Atherton and Darren J Kerbyson. Size invariant circle detection. *Image and Vision computing*, 17(11):795–803, 1999.
- [2] John Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6):679–698, 1986.
- [3] Richard O Duda and Peter E Hart. Detect lines and curves in pictures. 1972.