

Kamera-Kalibrierung mit OpenCV

Michael Froschauer - 2410454009

Implementierung der Kamera-Kalibrierung

Die Kamera-Kalibrierung soll mit OpenCV durchgeführt werden. Dabei wird ein Schachbrettmuster oder ein Kreisraster zur Kalibrierung verwendet. Ziel ist es, die intrinsischen, extrinsischen und Verzerrungsparameter der Kamera zu bestimmen und diese für eine spätere Bildkorrektur zu nutzen.

Vorgehensweise

1. Erfassen von Kalibrierungsbildern:

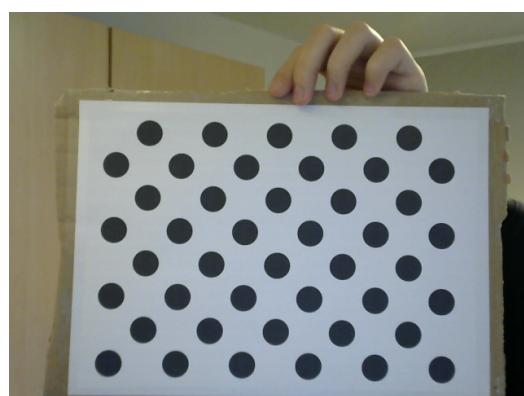
- Bilder eines Schachbrettmusters wurden mit sowohl mit einer externen Webcam als auch mit der internet Notebook Webcam aufgenommen.
- Tests wurden sowohl mit einem möglichst optimalen Testbild als auch mit einem absichtlich verzerrten Schachbrettmuster durchgeführt, um die Robustheit der Implementierung zu überprüfen.
- Zusätzlich wurde die Kalibrierung mit einem asynchronen Kreisraster getestet.



Schachbrettmuster (optimal)



Schachbrettmuster (verzerrt)



Asymmetrischer Kreisraster

2. Erkennung des Musters:

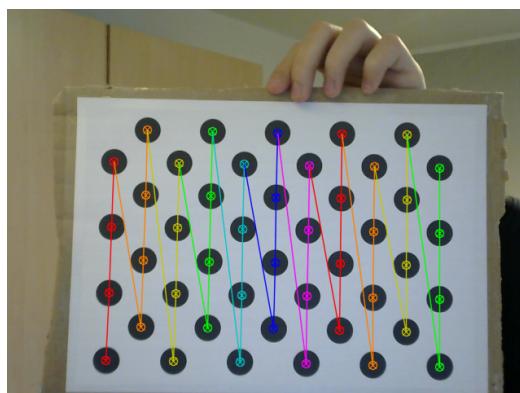
- Die Funktion `cv2.findChessboardCorners` wurde verwendet, um die Ecken des Schachbretts zu identifizieren.
 - Die Ecken des Schachbrettmusters wurden hier, sowohl beim optimalen Bild als auch beim bewusst verzerrten Bild sehr gut und konsistent erkannt.
- Alternativ wurde `cv2.findCirclesGrid` für die Erkennung eines asymmetrischen Kreisrasters getestet.
 - Um ein Testbild mit asymmetrischen Kreisraster durchzuführen, ist zusätzlich ein `BlobDetector` nötig. Dieser findet die Kreise im Testbild.
 - Die Ergebnisse mit dieser Variante sind merklich schlechter. Man erkennt auch direkt am Testbild auf welchem die Kreismittelpunkte eingezeichnet sind, dass diese variieren. Da der Kreismittelpunkt nicht optimal erkannt wird, kann auch die Kamerakalibrierung nicht optimal funktionieren.
- Die Auswahl der Testvariante (Schachbrett oder Kreismuster) kann über die Variable `checkerboard_test_image` gesteuert werden.



Schachbrettmuster (optimal) mit erkannten Eckpunkten



Schachbrettmuster (verzerrt) mit erkannten Eckpunkten



Asymmetrischer Kreisraster mit erkannten Mittelpunkten

3. Berechnung der Kameraparameter:

Mit der Funktion `cv2.calibrateCamera` wurden die folgenden Parameter berechnet:

- **Kameramatrix (intrinsische Parameter):** Diese beschreibt die inneren Eigenschaften der Kamera, wie die Brennweite und den optischen Mittelpunkt.
- **Verzerrungskoeffizienten:** Diese Parameter modellieren die Verzerrung der Linse, insbesondere die radiale und tangentiale Verzerrung.
- **Rotations- und Translationsvektoren (extrinsische Parameter):** Diese beschreiben die Position und Orientierung der Kamera relativ zur Szene.

Ergebnisse der Kalibrierung

Die Kamera-Kalibrierung war erfolgreich. Mehrere Bilder würden zu einer genaueren und robusteren Lösung führen, insbesondere für die Schätzung der intrinsischen Parameter (Kameramatrix & Verzerrungskoeffizienten). Die extrinsischen Parameter (Rotations- und Translationsvektoren) beziehen sich spezifisch auf dieses eine Bild, da sie sich für jedes Kalibrierungsbild individuell ändern. Um die Dokumentation kurz zu halten, werden hier jedoch nur die Ergebnisse eines einzelnen Bildes dargestellt.

(Im Anhang befinden sich dann die Tests und Ergebnisse mit mehreren Bildern und verschiedenen Kameras.)

1. Kamerakalibrierung für das optimale Schachbrettmuster Testbild:

Die berechneten Parameter sind für das optimale (nicht absichtlich verzerrte) Bild:

Root Mean Square Error (RMS): 0.07838

Der RMS-Wert von 0.07838 bedeutet, dass der Fehler zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Werten im Durchschnitt bei 0.07838 liegt. Dieser Wert ist relativ gering und deutet auf eine hohe Genauigkeit hin. Werte über 2.0 würden darauf hindeuten, dass die Kamera nicht mehr ausreichend kalibriert ist.

Kameramatrix:

```
[ [2223.97554      0.0    300.046808]
[      0.0    2221.66388  217.340798]
[      0.0        0.0       1.0]]
```

Die Kameramatrix gibt an, wie die Bildkoordinaten mit der realen Szene zusammenhängen. Sie enthält die Brennweitenwerte und den optischen Mittelpunkt.

Erklärung der Werte:

- **2223.97554** → Brennweite in Pixeln entlang der X-Achse
- **2221.66388** → Brennweite in Pixeln entlang der Y-Achse
- **300.046808** → X-Koordinate des optischen Zentrums (Bildmitte)
- **217.340798** → Y-Koordinate des optischen Zentrums (Bildmitte)

Verzerrungskoeffizienten:

```
[ [-1.14417139    87.2180354   0.00823849   0.0200677839  -1429.65366] ]
```

Diese Koeffizienten beschreiben die Verzerrungseffekte der Linse. Ein hoher Wert zeigt eine starke Verzerrung an.

Erklärung der Werte:

- **k_1 = -1.14417139** → Radialer Verzerrungskoeffizient (1. Ordnung)
- **k_2 = 87.2180354** → Radialer Verzerrungskoeffizient (2. Ordnung)
- **p_1 = 0.00823849** → Tangentialer Verzerrungskoeffizient (1. Ordnung)
- **p_2 = 0.0200677839** → Tangentialer Verzerrungskoeffizient (2. Ordnung)
- **k_3 = -1429.65366** → Radialer Verzerrungskoeffizient (3. Ordnung)

Radiale Verzerrung (k_1, k_2, k_3) bewirkt tonnen- oder kissenförmige Verzerrungen, abhängig von der Linse.

Tangentielle Verzerrung (p_1, p_2) tritt auf, wenn die Linse nicht perfekt zur Sensorebene ausgerichtet ist.

Extrinsische Parameter:

ROTATION:

```
[ [0.04446572],  
[0.10787995],  
[1.68047612]]
```

TRANSLATION:

```
[ [ 5.77632098],  
[-1.36478639],  
[64.30078254]]
```

Diese Parameter beschreiben die Lage der Kamera relativ zur aufgenommenen Szene.

- **Rotation (R)** → Gibt an, wie die Kamera im Raum (bzw. zum Schachbrettmuster) gedreht ist.
- **Translation (T)** → Gibt an, wo die Kamera relativ zur Szene positioniert ist.

2. Kamerakalibrierung für das bewusst verzerrte Schachbrettmuster Testbild:

Die Beschreibung der erfassten Werte wurde bereits im ersten Testbild (optimales Schachbrettmuster-Testbild) vorgenommen und wird für dieses Testbild nicht erneut wiederholt.

Die berechneten Parameter sind für das verzerrte Bild:

Root Mean Square Error (RMS): 0.422629

Kameramatrix:

```
[[1091.64418      0.0    338.472539]
 [     0.0    1045.04657 137.211886]
 [     0.0          0.0       1.0]]
```

Verzerrungskoeffizienten:

```
[-1.08087431   4.43422984   0.14391658   0.0001976364   -17.9703324]
```

Extrinsische Parameter:

ROTATION:

```
[-0.07125479],
 [ 0.08315023],
 [ 1.59732734]]
```

TRANSLATION:

```
[ 3.15585403],
 [ 1.93264747],
 [27.83891718]]
```

3. Kamerakalibrierung für das Kreismuster Testbild:

Die Beschreibung der erfassten Werte wurde bereits im ersten Testbild (optimales Schachbrettmuster-Testbild) vorgenommen und wird für dieses Testbild nicht erneut wiederholt.

Die berechneten Parameter sind für das Kreismuster Bild:

Hier lässt sich direkt erkennen, dass die Erkennung nicht gut funktioniert hat, der RMS Wert ist zu hoch.

Root Mean Square Error (RMS): 18.79316338740906

Kameramatrix:

```
[ 1444.92715      0.0    322.177040]
 [     0.0    5692.08685 -45.0000861]
 [     0.0          0.0       1.0]]
```

Verzerrungskoeffizienten:

```
[-1.08087431   4.43422984   0.14391658   0.0001976364   -17.9703324]
```

Extrinsische Parameter:

ROTATION:
[[-0.07125479],
[0.08315023],
[1.59732734]]

TRANSLATION:
[[3.15585403],
[1.93264747],
[27.83891718]]

Verzerrungskorrektur und Visualisierung

Mit den ermittelten Kalibrierungsergebnissen soll eine Verzerrungskorrektur angewendet werden. Zusätzlich soll eine Visualisierung der Verzerrung vor und nach der Korrektur erfolgen.

Vorgehensweise

1. Anwenden der Verzerrungskorrektur:

- Mit der Funktion `cv2.undistort` wurde die Korrektur auf die Testbilder angewendet.
- Es lässt sich gut erkennen, dass die Schachbrettmuster sehr gut funktionieren. Selbst bei bewusst verzerrten Schachbrettmustern lässt sich aufgrund des korrekt ausgerichteten Musters erkennen, dass die Kalibrierung erfolgreich war. Beim Kreisraster hingegen war die Kalibrierung aufgrund der nicht richtig erkannten Mittelpunkte weniger erfolgreich.
- Die korrigierten Bilder wurden gespeichert und angezeigt.

Die Verzerrungskorrektur konnte erfolgreich durchgeführt werden.



Schachbrettmuster (optimal) korrigiert



Schachbrettmuster (verzerrt) korrigiert



Asymmetrischer Kreisraster korrigiert

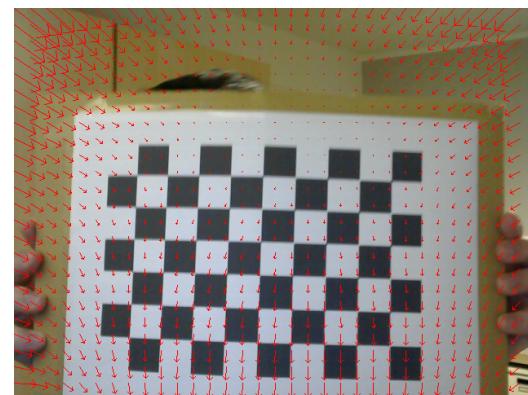
2. Visualisierung der Verzerrung:

- Ein Vektorfeld wurde zur Darstellung der Verzerrung vor der Korrektur genutzt.
- Die Funktion `cv2.initUndistortRectifyMap` wurde verwendet, um eine Mapping-Tabelle für die Pixelverschiebung zu erstellen.
- Die Verschiebung der Pixel wurde mit roten Pfeilen auf dem Originalbild dargestellt.

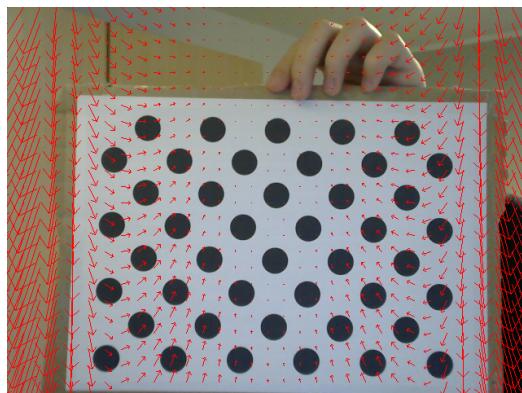
Die Visualisierung mit einem Vektorfeld zeigt deutlich, wie stark die Verzerrung vor der Korrektur war und welche Bereiche besonders betroffen sind.



Schachbrettmuster (optimal) Vektorfeld



Schachbrettmuster (verzerrt) Vektorfeld



Asymmetrischer Kreisraster Vektorfeld

Anmerkung Tests

Im ZIP-Anhang befinden sich neben der Implementierung fünf Testläufe, die ein optimales Testbild mit Schachbrettmuster, ein absichtlich verzerrtes Testbild mit Schachbrettmuster und die Tests mit dem asymmetrischen Kreisraster beinhalten. Diese Tests wurden mit zwei verschiedenen Kameras durchgeführt: der internen Laptop-Webcam und einer externen Webcam. In jedem Ordner ist außerdem eine Datei namens „results.txt“ enthalten, die die berechneten Kamerakalibrierungswerte für jeden Testlauf dokumentiert.