

# Universität Bremen

## Fachbereich 3

### Roboterassistiertes Kalibrierungssystem für Sensoren

Bachelorarbeit

Benny Prange

Matrikel-Nummer 2597237

**Betreuer** Alexis Maldonado  
**Erstprüfer** Prof. Dr. Michael Beetz  
**Zweitprüfer** Prof. Dr. Doe

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	1
1 Einleitung	2
2 Grundlagen	4
2.1 Kameramodell . . . . .	4
2.2 Verzeichnung . . . . .	5
Literaturverzeichnis	7

# Abbildungsverzeichnis

# **Tabellenverzeichnis**

# 1 Einleitung

In der Robotik werden bildgebende Sensoren benutzt, um Informationen über das Umfeld des Roboters zu erhalten. Diese Informationen können genutzt werden, um Hindernisse zu erkennen, die der Roboter meiden soll oder es werden Gegenstände gesucht, die der Roboter greifen und mit ihnen interagieren soll. Es gibt verschiedene Arten von bildgebenden Sensoren, wie z.B. Kameras, die ein zweidimensionales Bild erzeugen und Kameras, die zusätzlich zu dem zweidimensionalen Bild auch Tiefeninformationen erkennen. Andere Sensoren, die ein räumliches Abbild ohne Farbinformationen erstellen, sind z.B. Lidar-, Ultraschall- und Radarsensoren.

Bei all diesen Sensoren ist es wichtig, dass diese korrekt kalibriert sind, damit die gemessenen Daten der Realität möglichst nahe kommen. Stimmen die Messdaten nicht mit der Realität überein, stößt der Greifarm ein Objekt möglicherweise um, anstatt es zu greifen.

Kamerasensoren, die nach dem Lochkameraprinzip arbeiten, werden durch die Kameramatrix definiert. Sie enthält Angaben über den internen Aufbau der Kamera, wie Bildsensorgröße und Brennweite, sowie die Position der Kamera in Relation zu der realen Umgebung. Dadurch lassen sich aus einem aufgenommenen Bild Informationen über die dreidimensionale Welt berechnen.

Das Ziel der Kalibrierung einer Kamera ist es, eine Kameramatrix zu berechnen, die eine möglichst exakte Relation von Kamerabildern zu der realen Umgebung ermöglicht. Diese Kameramatrix kann mithilfe von Kalibriermustern erstellt werden. Dazu werden mehrere Fotos aufgenommen, auf denen das Muster in verschiedenen Entfernungen und Orientierungen zu sehen ist. Schließlich lässt sich aus diesen Daten die Kameramatrix berechnen.

## *1 Einleitung*

Dieser Vorgang ist sehr zeitaufwändig. Zum einen müssen viele Bilder gemacht werden, um eine möglichst präzise Kalibrierung zu erhalten. Daher werden bis zu 50 Bilder aufgenommen. Zum anderen empfiehlt es sich, Kamera und Kalibriermuster jeweils auf einem Stativ zu befestigen, um scharfe Bilder zu erzeugen. Damit ist gewährleistet, dass die Erkennung des Kalibrierusters nicht von unscharfen Bildern gestört wird, allerdings wird der Vorgang durch das Verstellen der Stativ auch weiter verlängert.

Um die Kalibrierung zu vereinfachen, soll daher ein Roboterarm das Bewegen des Kalibrierusters übernehmen und der ganze Ablauf mit dem Erstellen der Bilder und dem Berechnen der Parameter durch ein Programm gesteuert werden. Der Benutzer platziert die Kamera auf einem Stativ vor dem Roboterarm, an dem das Kalibriermuster befestigt ist. Anschließend startet er das Programm, welches den Arm an verschiedene Positionen bewegt, sodass die Kamera das Muster aus mehreren Entfernungen und Orientierungen aufnehmen kann. Zum Schluss berechnet das Programm die benötigten Parameter und der Benutzer kann die Kamera mit diesen Parametern einsetzen.

## 2 Grundlagen

Wie bereits in der Einleitung erwähnt sind Kameras ein wichtiger Sensor in der Robotik, indem sie dem Roboter helfen, die Umgebung wahrzunehmen. Abhängig von dem Einsatzgebiet ist ein genaues Abbild der Umgebung außerordentlich wichtig für die Erfüllung der Aufgabe. Dies ist der Fall wenn zum Beispiel der Roboter über das Kamerabild einen Gegenstand lokalisieren muss, um ihn anschließend zu greifen, oder er muss in dem Kamerabild Hindernisse erkennen, um einen Weg zum Ziel zu planen.

Der relativ günstige Preis von Lochkameras gegenüber anderen bildgebenden Sensoren hat dazu beigetragen, dass Kameras ein viel genutzter Sensor sind. Da sich aber gezeigt hat, dass die Toleranzen bei der Produktion und der Aufbau der Kameras an sich zu Verzerrungen im Bild führen, wurden Modelle entwickelt, um diese Verzerrungen herauszurechnen und das Bild zu korrigieren. Ein häufig genutztes Modell wird im folgenden beschrieben.

### 2.1 Kameramodell

In [Zha00] wird ein gängiges Kameramodell beschrieben, welches nun kurz erklärt wird.

Die Beziehung zwischen einem Punkt in einem zweidimensionalen Bild und einem Punkt in der dreidimensionalen Welt wird durch Gleichung 2.1 beschrieben:

## 2 Grundlagen

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

mit

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$K$  enthält die intrinsischen Parameter der Kamera, die auf Grund der Fertigungstoleranzen für jede Kamera unterschiedlich sind.  $f$  definiert die Brennweite der Kamera. Da die Pixel nicht immer quadratisch sind, wird dieser Wert für die x und y-Achse angegeben.  $c_x$  und  $c_y$  beschreiben das optische Zentrum des Bildes, welches ebenfalls nicht immer genau im Mittelpunkt des Bildes liegt.

$R$  und  $T$  definieren die extrinsischen Parameter.  $R$  ist eine Rotationsmatrix, die die Rotation zwischen dem Kamera- und Weltkoordinatensystem beschreibt,  $T$  ist ein Vektor der die Transformation zwischen Kamera- und Weltkoordinatensystem beschreibt.

### 2.2 Verzeichnung

Mit dem Kameramodell kann nun eine Beziehung zwischen einem Punkt im Bild und dem Punkt in der Welt hergestellt werden. Kameras bilden das Bild jedoch nicht immer korrekt ab. Häufig sieht man in Bildern den Effekt, dass gerade Linien in der Welt, wie z.B. Häuserkanten nicht gerade im Bild aufgenommen werden, sondern dass diese im Bild gebogen werden. Diesen Effekt nennt man Verzeichnung.

Man kann zwischen zwei verschiedenen Arten der Verzeichnung sprechen. Die Verzeichnung, die gerade Linien gekrümmt darstellt, heißt radiale Verzeichnung. Um diese Verzeichnung herauszurechnen werden die drei Faktoren  $k_1, k_2, k_3$  benötigt. Sind diese gegeben, lässt sich die Verzeichnung korrigieren.  $r$  ist der Abstand vom Bildmittelpunkt zum



## 2 Grundlagen

Punkt, der korrigiert werden soll.  $x', y'$  sind die falsch abgebildeten Punkte,  $x, y$  sind die korrigierten Punkte.

$$x = x'(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (2.3)$$

$$y = y'(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (2.4)$$

Zusätzlich zu der radialen Verzeichnung gibt es tangentielle Verzeichnung. Diese tritt auf, wenn die Kameralinse nicht parallel zum Sensor eingebaut ist. Diese Verzeichnung führt dazu, dass Linien, die im idealen Bild parallel verlaufen, nun einen gemeinsamen Fluchtpunkt besitzen. Um diese Verzeichnung zu korrigieren, werden die Faktoren  $p_1, p_2$  benötigt.

$$x = x' + (2p_1 xy + p_2(r^2 + 2x^2)) \quad (2.5)$$

$$y = y' + (p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2 xy) \quad (2.6)$$

# Literaturverzeichnis

[Zha00] Zhang, Zhengyou: A Flexible New Technique for Camera Calibration, 2000,  
1330–1334

# Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Ort, Datum

Unterschrift