

Übung 4

Hough Transformation

Ziel dieser Übung

Das Ziel dieser Übung ist es, die Grundlagen der Hough Transformation zu erlernen und diese innerhalb der Programmierumgebung MATLAB beispielhaft anzuwenden. Beispielhaft sollen die Kanten von zwei unterschiedlichen Objekten erkannt werden. Dabei sollen verschiedene Parameter variiert und deren Effekt untersucht werden.

Inhalte

- Hough Transformation zur Geradenerkennung
- Skriptentwicklung unter Verwendung von MATLAB und der Image Processing Toolbox
- Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter auf die Geradenerkennung

Theorie – Hough Transformation

Motivation

In den bisherigen Übungseinheiten wurden Objekte anhand ihrer Kanteneigenschaften mit Hilfe von Kantenfiltern wie z.B. Prewitt-, Sobel- oder Laplace-Filter segmentiert. Nach der Bearbeitung mit einem Kantenfilter sind die Kanten jedoch häufig nicht vollständig, auftretende Lücken erschweren die Segmentierung. Um diese Lücken in beispielsweise linienhaften Kanten zu schließen, ist eine Geradengleichung notwendig. Die Hough-Transformation bietet einen Lösungsansatz, eben diese Geradengleichung auf Basis der vorhandenen Kantenpixel zu finden.

Der Ansatz der Hough-Transformation kann nicht nur auf Geraden bezogen werden, sondern ist auch übertragbar auf andere Formen wie beispielsweise Kreise und Ellipsen. Es gibt auch eine *generalisierte* Hough-Transformation, die es möglich macht, beliebige Formen in einem Bild zu finden. Die Hough-Transformation und deren Varianten werden in der Vorlesung genauer erläutert.

在以前的练习单元中，物体是根据它们的边缘属性，使用边缘滤波器，如普雷维特、索贝尔或拉普拉斯滤波器进行分割。然而，在用边缘滤波器处理后，边缘往往是不完整的；出现的空隙使分割变得困难。为了弥补这些差距，例如线性边缘，需要一个直线方程。Hough变换提供了一种解决方法，在现有的边缘像素的基础上正好找到这个直线方程。Hough变换的方法不仅可以与直线有关，而且还可以转移到其他形状，如圆和椭圆。还有一个广义的Hough变换，使其有可能找到图像中的任意形状。讲座中对Hough变换及其变体进行了更详细的解释。

Übung 4: Hough Transformation

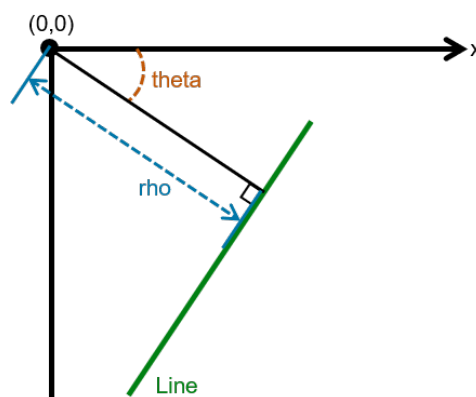
Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik

Funktionsweise

Ausgangsbasis für die Geradenerkennung ist ein Binärbild, welches Kantenpixel und Nicht-Kantenpixel unterscheidet. Dies kann z.B. durch den Canny-Algorithmus oder durch Kombination von Faltungsoperatoren wie Prewitt und Sobel mit einem Schwellwertoperator erreicht werden.

Wie der Name schon sagt, handelt es sich bei der Hough-Transformation um eine Transformation. Diese ist dadurch definiert, dass eine Gerade im Bild genau einem Punkt im Hough-Raum entspricht. Grundlage dafür stellt die Hesse'sche Normalform einer Geraden dar. Dabei bezeichnet **rho** die Länge der Normalen und **theta** den Winkel der Normalen in Bezug auf die x -Achse. Eine Gerade im Bild kann somit durch die Parameter **rho** und **theta** nach folgender Formel beschrieben werden:

$$x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) = \rho$$



如果我们现在看一下图像中的单个边缘像素，它可能属于一群直线，即理论上无限的直线集合。（实际上，这组直线是有限的，因为只使用了参数的有限的离散分辨率）。对这组直线应用Hough变换，现在在Hough空间中形成了一条正弦曲线。图像中的每个边缘像素--或者说通过这个边缘像素的直线--都对应着这样一条正弦曲线。如果边缘像素位于同一条直线上，它们的正弦曲线正好与描述这条直线的点相交。这一点的值在每次出现时都会被递增，因此在每种情况下都会计算出可能的相关直线数量。如果许多边缘点位于同一条直线上，那么在Hough空间中该点有一个集群。

Abbildung 1: Hough-Koordinatensystem im MATLAB (<https://de.mathworks.com/help/images/ref/hough.html>)

Betrachtet man nun ein einzelnes Kantenpixel im Bild, so kann dieses zu einer Schar von Geraden gehören, also einer theoretisch unendlichen Menge an Geraden. (Praktisch wird diese Menge an Geraden limitiert, da nur eine begrenzte, diskrete Auflösung der Parameter (ρ, θ) verwendet wird). Wendet man nun die Hough-Transformation auf diese Geradenschar an, so ergibt sich im Hough-Raum eine **sinusförmige Kurve**.

Jedes Kantenpixel im Bild – oder vielmehr die Geradenschar, die durch dieses Kantenpixel geht – entspricht also einer solchen, sinusförmigen Kurve. Liegen Kantenpixel auf derselben Gerade, so schneidet sich deren sinusförmige Kurve in genau dem Punkt, der diese Gerade beschreibt. Der Wert an dieser Stelle (ρ, θ) wird für jedes Vorkommen inkrementiert, sodass jeweils die Anzahl der möglichen, zugehörigen Geraden gezählt wird. Wenn viele Kantenpunkte auf derselben Gerade liegen, so entsteht an der Stelle eine Häufung im Hough-Raum.

Nach erfolgter Transformation eines Kantenbildes in den Hough-Raum, wird in diesem nach Maxima gesucht. Diese Maxima entsprechen den Häufungspunkten und somit gewissermaßen der Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche

Übung 4: Hough Transformation

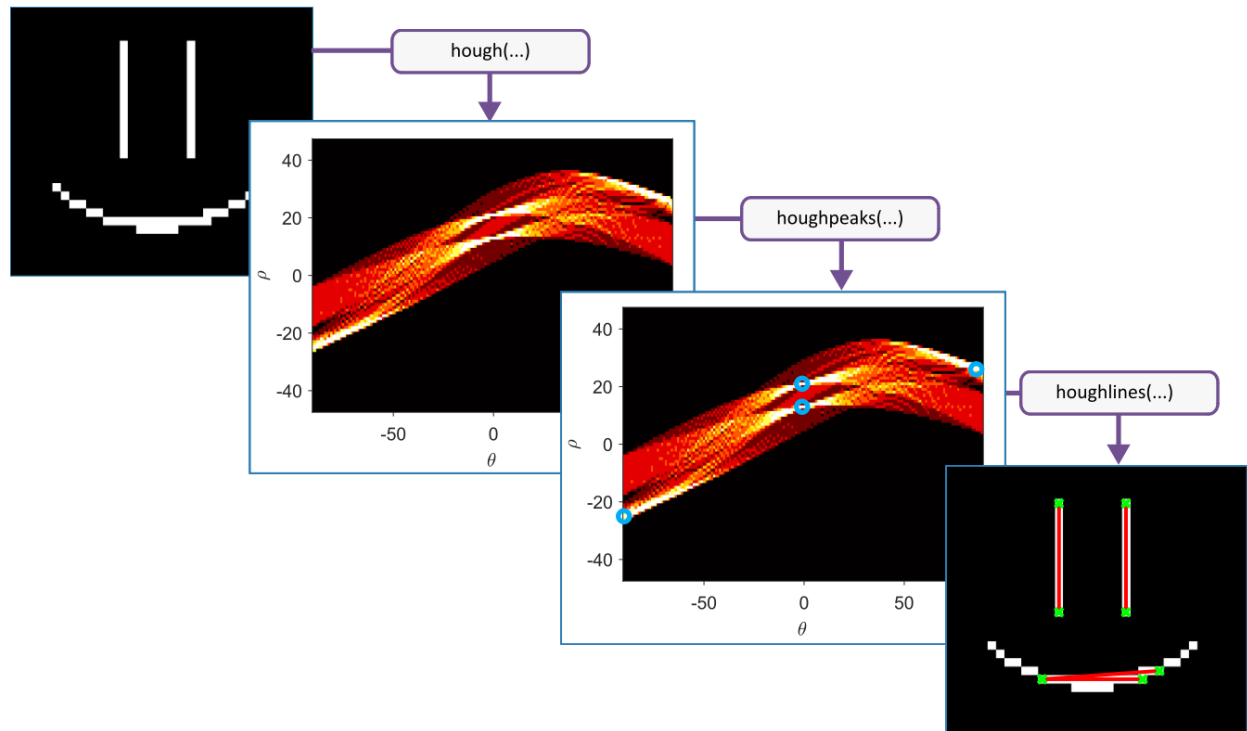
Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik

Vorkommen dieser Geraden. Lange Kanten sollten einem sehr starken Maximum entsprechen, während kurze Kanten nur als kleines, lokales Maximum erkennbar sind. Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 2 veranschaulicht.

在将边缘图像转化为Hough空间后，在这个空间中寻找最大值。这些最大值对应于集群点，因此在一定程度上对应于这些直线实际发生的概率。长边应该对应于一个非常强的最大值，而短边只能识别为一个小的局部的最大值。图2说明了各个步骤。

The Hough transform workflow

Three functions are used to detect straight lines in the Hough transform workflow.



1. `hough` computes the Hough transform matrix
2. `houghpeaks` finds the peaks in the Hough transform matrix
3. `houghlines` identifies line positions in the original image using the peaks found by `houghpeaks`

Abbildung 2: Workflow bei der Hough Transformation (<https://matlabacademy.mathworks.com>)

Übung 4: Hough Transformation

Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik

Aufgaben

1. Implementieren Sie ein MATLAB-Skript, das für ein gegebenes Eingangsbild sämtliche Schritte der Hough-Transformation visualisiert, d.h. insbesondere das binäre **Kantenbild**, den **Hough-Raum**, und die in das Originalbild projizierten **Geradensegmente**. Falls nötig, finden Sie in der MATLAB Hilfe ein Code-Beispiel, auf dem Sie aufbauen können.

MATLAB bietet Funktionen zur Durchführung einer Hough-Transformation für gerade Linienelemente. Diese Funktionen sind:

`[H, theta, rho] = hough(BW)` - Berechnet die Hough-Transformierte aus einem Binärbild.

`peaks = houghpeaks(H, numpeaks)` - Sucht Höchstwerte im Hough-Raum

`lines = houghlines(BW, theta, rho, peaks)` - Bildet mit Hilfe der gefundenen Geraden und des Binärbilds zugehörige Geradensegmente

binäres Kantenbild:

Hough-Raum:

in das Originalbild projizierte Geradensegmente:

Testen Sie die grundlegende Funktionsweise Ihres Programms anhand der Bilderserie „Test_Bild....png“. Versuchen Sie dabei die einzelnen Teilergebnisse und deren Zustandekommen nachzuvollziehen.

Recherchieren Sie die Funktionsweise der nachfolgend aufgelisteten Parameter und untersuchen Sie deren Einfluss auf das Ergebnis:

- a. Eigenschaften des Canny-Filters
- b. Auflösung von rho und theta
- c. Anzahl und Schwellwert der zu findenden Maximalwerte im Hough-Raum
- d. Größe der Nachbarschaft, in der weitere Extremwerte unterdrückt werden
- e. Die Mindestlänge und maximale Lückengröße zur Bildung der Geradensegmente

Diskutieren Sie den Effekt der einzelnen Parameter!

Übung 4: Hough Transformation

Fachgebiet Industrielle Automatisierungstechnik

2. Versuchen Sie nun, sämtliche Kanten im Bild „Platte1.png“ als Geradensegmente zu erkennen. Welche Segmente bereiten besondere Schwierigkeiten? Warum?

binäres Kantenbild:

Hough-Raum:

in das Originalbild projizierte Geradensegmente:

Bonus:

Wenden Sie Ihr in Aufgabe 2 angepasstes Skript zunächst ohne weitere Veränderungen auf das Bild „Platte2.png“ an. Diskutieren Sie das Ergebnis und schlagen Sie möglichst begründet Parameteränderungen vor, mit denen erneut sämtliche Geradensegmente hervorgehoben werden können.