Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
School of Engineering and Design
Technische Universität München

Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Vorlesungsübersicht

01 Einführung 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	**01 Einführung** 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	**01 Übung Einführung** 28.04.2022 – Hoffmann
02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	**02 Sensorik / Wahrnehmung I** 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	**02 Sensorik / Wahrnehmung I** 05.05.2022 – Prof. Lienkamp
03 Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	**03 Sensorik / Wahrnehmung II** 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	**03 Übung Sensorik / Wahrnehmung II** 12.05.2022 – Schimpe
04 Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe	**04 Sensorik / Wahrnehmung III** 19.05.2022 – Schimpe	**04 Übung Sensorik / Wahrnehmung III** 19.05.2022 – Schimpe
05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Winkler	**05 Funktionslogik / Regelung** 02.06.2022 – Winkler	**05 Funktionslogik / Regelung** 02.06.2022 – Winkler
06 Übung Funktionslogik / Regelung 09.06.2022 – Winkler	**06 Funktionale Systemarchitektur** 09.06.2022 – Prof. Lienkamp	**06 Aktorik** 09.06.2022 – Prof. Lienkamp
07 Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic	**07 Deep Learning** 23.06.2022 – Majstorovic	**07 Übung Deep Learning** 23.06.2022 – Majstorovic
08 MMI 30.06.2022 – Prof. Bengler	**08 MMI** 30.06.2022 – Prof. Bengler	**08 MMI Übung** 30.06.2022 – Prof. Bengler
09 Controllability 07.07.2022 – Prof. Bengler	**09 Controllability** 07.07.2022 – Prof. Bengler	**09 Übung Controllability** 07.07.2022 – Winkle
10 Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	**10 Entwicklungsprozess** 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	**10 Übung Entwicklungsprozess** 14.07.2022 – Hoffmann
11 Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Feig	**11 Analyse und Bewertung FAS** 21.07.2022 – Feig	**11 Übung Analyse und Bewertung FAS** 21.07.2022 – Feig
12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	**12 Aktuelle und künftige Systeme** 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	**12 Aktuelle und künftige Systeme** 28.07.2022 – Prof. Lienkamp

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. Grundlagen
   1.1 Kanten
   1.2 Faltung
2. Operatoren
   2.1 Sobel-Operator
   2.2 Laplace-Filter
3. Matlab-Übungsaufgaben

Was soll hängen bleiben?

Exkurs

- Wofür & wie werden Bilder aufgenommen und digital dargestellt?
- Warum sind Kanten für FAS wichtig?
- Wie funktioniert die diskrete Faltung?
- Wie werden einfache Filtermasken für die Kantendetektion hergeleitet?
- Wie funktioniert die Anwendung?

获取图像的目的和方式是什么？为什么边缘对 FAS 很重要？

离散卷积是如何工作的？

用于边缘检测的简单滤波器掩码是如何产生的？

应用程序如何运行？

Funktionalität Kamera (Tesla Autopilot)

Exkurs

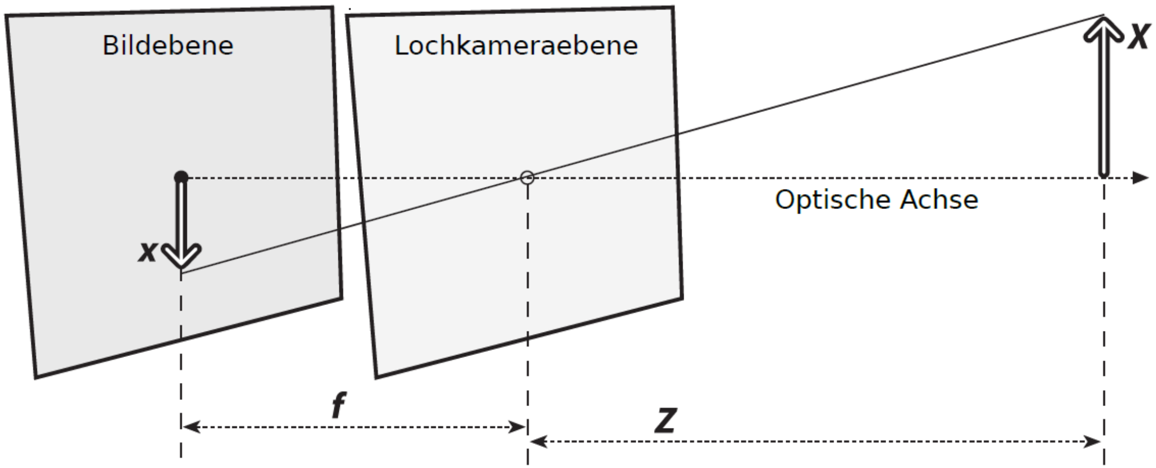
Quelle: greentheonly
https://www.youtube.com/watch?v=_1MHGUC_BzQ

Maschinelles Sehen

Kamera, bspw. Flir Tau CNV

im Fahrzeug, bspw. hinter der Windschitzscheibe

- Durch Kamera: Projektion von 3D Raumpunkten auf 2D Bildpunkte



→ Vorstellung des „Lochkameramodells" in der Vorlesung

Diskretisierung & Digitalisierung

Exkurs

- Bildsignale nach bisheriger Betrachtung:
  - Ortskontinuierlich
  - Wertkontinuierlich
  - Zeitkontinuierlich
- Digitalisierung: Diskretisierung in jeder Dimension

75	63	102	206	169
71	66	136	205	169
70	71	177	199	159
72	79	190	188	159
64	91	208	185	149

Helligkeitsdarstellung mit 8 bit

0 128 255

Winner, TUD nach Stiller 2002

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. Grundlagen

1.1 Kanten

1.2 Faltung

2. Operatoren

2.1 Sobel-Operator

2.2 Laplace-Filter

3. Matlab-Übungsaufgaben

Bildvorbereitung

- Annahme: eigentliches Bild ist stetige Funktion (=> Herleitung)

→ Kennen nur Werte auf diskretem Gitter

→ Werte des Gitters → Matrix

- Verwendung nur eines Kanals (z.B. Helligkeit)
  亮度

  (Bild ist Funktion $f: \mathbb{R}^2 \longrightarrow \mathbb{R}$)

75	63	102	206	169
71	66	136	205	169
70	71	177	199	159
72	79	190	188	159
64	91	208	185	149

Helligkeitsdarstellung mit 8 bit

Warum Kanten?

亮度突变的地方

具有视觉冲击力的图像特征

使人和物体等的轮廓清晰可见

在人类视觉中发挥重要作用

属于最重要的图像信息（极端情况：即使是线条图也足以识别人、物体等）

- Stellen mit abrupter Helligkeitsänderung
- Optisch prägnante Bildmerkmale
- Ermöglichen Umrisse von Menschen, Objekten etc. wahrzunehmen
- Spielen wichtige Rolle beim menschlichen Sehen
- Gehören zu den wichtigsten Bildinformationen (Extremfall: selbst Strichzeichnungen genügen, um Personen, Objekte usw. zu erkennen)

Eigenschaften von Kanten

沿明显方向的局部强烈强度变化

观察图像函数边缘的导数 → 导数的局部最大值

- Lokal starke Intensitätsänderung entlang ausgeprägter Richtung
- Betrachtung der Ableitung der Bildfunktion
- Kanten → lokale Maxima der Ableitung

Kante

0	10

$f'(x) = 10$

Keine Kante

10	10

$f'(x) = 0$

Anforderungen an Kantenfilter

Verschiebungsfreiheit:

→Kantendetektion invariant unter Verschiebungen

Isotropie (Invarianz unter Bilddrehungen):

→ Intensität/Erkennungsgüte nicht von Kantenrichtung abhängig

→ Bilddrehung ändert Kantenintensitäten nicht

(Schwachpunkt fast aller klassischen Kantendetektionsverfahren)

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. **Grundlagen**
   - 1.1 Kanten
   - **1.2 Faltung** 折叠式
2. Operatoren
   - 2.1 Sobel-Operator
   - 2.2 Laplace-Filter
3. Matlab-Übungsaufgaben

Lineare Filter

原则：

小邻域内像素的线性连接

程序：

每个像素和某个邻域内的所有像素都用一个系数加权，然后求和。

得出该点的元素值

Prinzip:

- Lineare Verknüpfung von Pixeln in kleinen Nachbarschaften

Vorgehen:

- Jedes Pixel sowie alle Pixel in einer gewissen Nachbarschaft werden mit einem Koeffizienten gewichtet und dann aufsummiert

- Dies ergibt den Wert des Elements an dieser Stelle

Faltung

- Lineare Filter lassen sich als Matrizen darstellen
- Anwendung mittels *diskreter Faltung* mit der Bildmatrix

Definition:

Sei $\mathbf{I}(x, y)$ die Bildmatrix und $\mathbf{H}(x, y)$ die Faltungsmatrix an der Stelle (x, y). Dann ist die diskrete Faltung $\mathbf{I} * \mathbf{H}$ definiert als

$$(\mathbf{I} * \mathbf{H})(x, y) := \sum_{i=-n}^{n} \sum_{j=-n}^{n} \mathbf{I}(x+i, y+j)\mathbf{H}(n+i, n+j)$$

wobei $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{(2n+1)\mathrm{x}(2n+1)}$

Beispiel: Faltung

Bildmatrix $\mathbf{I}$:

3	0	1	2	7	4
1	5	8	9	3	1
2	7	2	5	1	3
0	1	3	1	7	8
4	2	1	6	2	8
2	4	5	2	3	9

$*$

Maske $\mathbf{H}$:

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Beispiel: Faltung

3	0	1	2	7	4
1	5	8	9	3	1
2	7	2	5	1	3
0	1	3	1	7	8
4	2	1	6	2	8
2	4	5	2	3	9

*

1	2	3
4	5	6
7	8	9

=

Beispiel: Faltung

$$3 * 1 + 0 * 2 + 1 * 3$$

$$+1 * 4 + 5 * 5 + 8 * 6$$

$$+2 * 7 + 7 * 8 + 2 * 9$$

$$= 171$$

Beispiel: Faltung

3	0	1	2	7	4
1	5	8	9	3	1
2	7	2	5	1	3
0	1	3	1	7	8
4	2	1	6	2	8
2	4	5	2	3	9

*

1	2	3
4	5	6
7	8	9

=

171			

Beispiel: Faltung

$$0 * 1 + 1 * 2 + 2 * 3$$

$$+ 5 * 4 + 8 * 5 + 9 * 6$$

$$+ 7 * 7 + 2 * 8 + 5 * 9$$

$$= 232$$

Beispiel: Faltung

3	0	1	2	7	4
1	5	8	9	3	1
2	7	2	5	1	3
0	1	3	1	7	8
4	2	1	6	2	8
2	4	5	2	3	9

*

1	2	3
4	5	6
7	8	9

=

171	232		

Herleitung: Kante → Filtermaske

- Umwandlung der Ableitung in einfache Matrixoperation durch diskrete zentrale Differenzen:

类似于求导

$$\boxed{\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{-f(x-1,y) + f(x+1,y)}{2}}$$

→ Abbildung der diskreten Differenz durch Faltung:

$$\begin{array}{|c|c|c|}\hline 1 & 2 & 3 \\ \hline \end{array} * \begin{array}{|c|c|c|}\hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|}\hline 2 \\ \hline \end{array}$$

- Um Rauschen zu verringern, werden 3x3 Matrizen verwendet (hier: Prewitt-Operator in x-Richtung zur Detektion vertikaler Kanten):

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Beispiel: Vertikale Kantenerkennung

10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0

$*$

Prewitt-Operator (vertikal):

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Beispiel: Vertikale Kantenerkennung

10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0
10	10	10	0	0	0

*

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

=

0	-30	-30	0
0	-30	-30	0
0	-30	-30	0
0	-30	-30	0

Beispiel: Vertikale Kantenerkennung

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

*

Prewitt-Operator (vertikal):

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Beispiel: Vertikale Kantenerkennung

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

*

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

=

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. Grundlagen
   1.1 Kanten
   1.2 Faltung
2. **Operatoren**
   2.1 **Sobel-Operator**
   2.2 Laplace-Filter
3. Matlab-Übungsaufgaben

Sobel-Operator

- Entspricht der 1. Ableitung
- Errechnet vertikale und horizontale Kanten separat
- Stärkere Gewichtung der Zentralen Matrixspalte (vgl. Prewitt)

Bild: Sobel-Operator in y-Richtung
→Detektion horizontaler Kanten

Herleitung: Sobel-Operator

- Umwandlung der Ableitung in einfache Matrixoperation durch diskrete zentrale Differenzen:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{-f(x-1,y)+f(x+1,y)}{2}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \end{bmatrix}$$

- Jetzt: Verdopplung der mittleren Matrixspalte:

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

- Vorteil gegenüber Prewitt-Operator:

  → bessere Isotropie

Sobel-Operator

Sobel-Operator S_x in x zur Detektion von vertikalen Kanten

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

Sobel-Operator S_y in y zur Detektion von horizontalen Kanten

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

Tausch der Vorzeichen beeinflusst Funktionsweise nicht

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. Grundlagen
   1.1 Kanten
   1.2 Faltung
2. **Operatoren**
   2.1 Sobel-Operator
   2.2 Laplace-Filter
3. Matlab-Übungsaufgaben

Laplace-Filter

- Entspricht der zweiten Ableitung
- Benötigt nur einen Rechenschritt → Weniger Rechenzeit
- Rauschempfindlich

Herleitung über Laplace-Operator

- Laplace Operator: $\Delta f = div(grad\ f) = \nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$

$$\rightarrow \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \approx \frac{\partial(f(x+1,y) - f(x,y))}{\partial x}$$

$$\approx f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

→ Zur Detektion von vertikalen und horizontalen Kanten

Herleitung 45°-Laplace-Filter

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Übung Kantenerkennung in Bildern
Andreas Schimpe, M.Sc.

Agenda

1. Grundlagen
   1.1 Kanten
   1.2 Faltung
2. Operatoren
   2.1 Sobel-Operator
   2.2 Laplace-Filter
3. **Matlab-Übungsaufgaben**