



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## Seminararbeit

Kanten- und Linienerkennung in Grauwertbildern  
für Bildverarbeitungsstufen im  
Antikollisionssystem des Faustfahrzeugs

Ning Liu

Kanten- und Linienerkennung in Grauwertbildern  
für Bildverarbeitungsstufen im Antikollisionssystem  
des Faustfahrzeugs

Ning Liu

Dokumentation zum Seminarvortrag im Rahmen des Masterkurses  
Verteilte Systeme im Studiengang Technische Informatik

15. Februar 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>5</b>
<b>2 Technische Entwicklung in der Bildverarbeitung</b>	<b>6</b>
2.1 Flächenkamas . . . . .	6
<b>3 Nachbarschaftsoperationen zur Kantenverstärkung</b>	<b>7</b>
3.1 Laplace Operator . . . . .	9
3.2 Sobel Operator . . . . .	10
<b>4 Kanten- und Linienerkennungsverfahren</b>	<b>11</b>
4.1 Parallele Linienerkennung mit Gradientenfilter . . . . .	11
4.2 Sequentielle Verfahren zur Linienverfolgung . . . . .	13
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>15</b>
<b>Literatur</b>	<b>15</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Kette der Abläufe zur Kantenerkennung . . . . .	5
2	Flächenkamera „Scout Series“ der Firma Basler Vision (9) . . . . .	6
3	Örtliche Ableitungen 1. und 2. Ordnung von Grauwertübergängen . . . . .	7
4	Nachbarschaftsoperationen mit Summe von gewichteten Pixelwerte . . . . .	8
5	Anwendung des Laplace Operators auf ein Grauwertbild mit künstlicher Rauschstörung	10
6	Anwendung des Sobel Operator auf ein Grauwertbild . . . . .	11
7	Linienerkennung durch das Zusammenführen von Rangfolge- und Richtungsbild . .	12
8	Skalierung des Kreises ein Umgebungsquadrat . . . . .	13
9	Die Untersuchung der Richtungen entlang des Pfades . . . . .	13
10	Gitternetz zur Bestimmung des Nachfolgepunktes der Linienverfolgung . . . . .	14
11	Untersuchung des Grauwerts entlang der Suchstrahlen . . . . .	14
12	Untersuchung des Grauwerts entlang eines Kreisbogens . . . . .	14
13	Gitternetz zur Linienverfolgung . . . . .	15

# 1 Einführung

Im Department Informatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften wird im Masterstudien-gang der Technischen Informatik, am Projekt Fahrerlose Autonome Transportsysteme (FAUST) ge-arbeitet. Ziel dieses Projektes ist das autonome Fahren des FAUST, ohne menschliches Eingreifen. Studenten der Technischen Informatik entwickeln im Masterkurs „Verteilte Embedded Systeme“ ein fahrerloses Transportsystem als Versuchsträger für Fahrzeug-Sicherheitsfunktionen. Automa-tische Notbremsungen, geführte Spurwechsel zur Kollisionsvermeidung, sowie eine Parkbucher-erkennung sind Entwicklungsziele. Zur Fahrzeug-Umgebungserkennung dienen Laserscanner und CCD-Kameras. Von der Sensorsignalerfassung über die Buskopplung der verteilten Rechnerkom-ponenten bis zum Einsatz mathematischer Methoden zur Bildverarbeitung wird ein breites Spek-trum technischer Herausforderungen bearbeitet.

Einen weiteren Schwerpunkt des Projektes bildet die Erprobung und Entwicklung von Entwurfsme-thoden für die Funktionspartitionierung in Multi- $\mu$ Controller-Netzen, die über den zeitgesteuerten FlexRay Bus kommunizieren. Für die Nachweise werden SW-HW-Systeme realisiert, die die Akti-vierung der Software-Tasks mit der Zeitsteuerung des FlexRay Busses koppeln. Als praktische An-wendungen dienen die entwickelten SW-Lösungen zu den Fahrzeugführungsfunktionen. Bis jetzt besteht das Sensornetzwerk des FAUST-Fahrzeugs, aus zwei Laserscannern und einer Webcam. Gegenwärtige Sensornetzwerke sind nicht miteinander vermascht. Daraus zieht sich die Konse-quenz, dass jedes System seinen eigenen Sensor benutzt. Aus der Ökonomischen und Daten-verarbeitungssicht wäre es besser, die Daten der einzelnen Sensoren zusammenzufassen und gemeinsam auszuwerten d.h. in ein Weltmodel zu integrieren. Die erzielten Synergieeffekte sollen die Anzahl der im Automobil verwendeten Sensoren minimieren. Werden z.B. Entfernungen mittels Laserentfernungsmesser erfasst, kann als Konsequenz ein 24Ghz Radar entfallen. Ein weiteres Beispiel ist die Verwendung des ESP Gierwinkelsensor, der das dynamische Verhalten des Fahr-zeugs modelliert.(3)

Diese Seminararbeit stellt Grundlagen der Bildverarbeitung zur Objekterkennung vor. Der Schwer-punkt dieser Dokumentation ist es Objekte in zwei dimensionale Bilder vom Hintergrund zu trennen. Dies ist ein Vorgang der aus mehreren Stufen besteht, siehe dazu Abb. 1. Im ersten Verarbeitungs-schritt werden Bilder in digitale Daten quantisiert und als Pixelstrom übertragen, auf diesem Strom wird ein Kantenerkennungsverfahren angewandt. Dort werden Nachbarschaftsoperatoren auf ei-ne Bildmatrix angewandt, hier werden zwei dieser Kanten-Operatoren vorgestellt. Nachdem die Kanten detektiert wurden, wird im nächsten Schritt die Grenzen des Objektes mit den Linien-erkennungsverfahren, festgelegt. Durch diese Verarbeitungskette wird die Datenmenge in einem Bild beispielsweise von sechs auf 0.1 Megapixel reduziert und die Qualität dabei gleichzeitig erhöht, denn die Daten wurden nach den relevanten Informationen der Objekterkennung gefiltert.

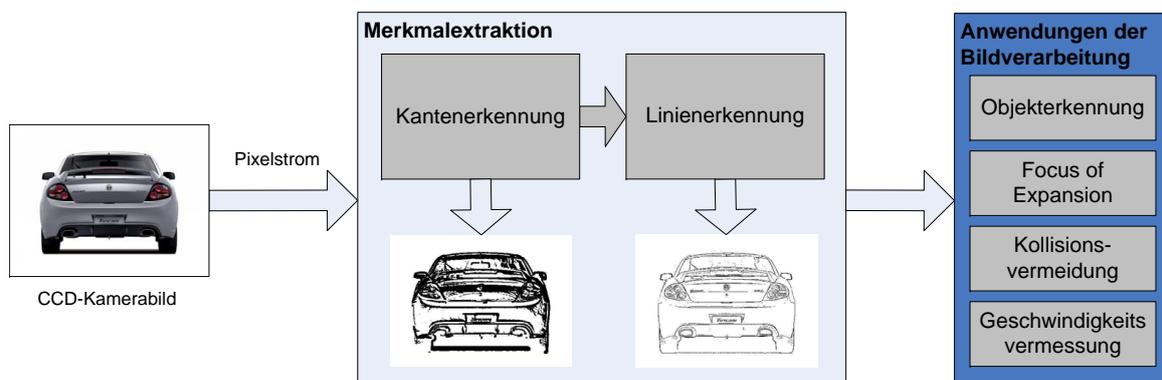


Abb. 1: Kette der Abläufe zur Kantenerkennung

## 2 Technische Entwicklung in der Bildverarbeitung

Mit der Entwicklung im Hardwarebereich in den letzten zwanzig Jahren, können digitale Bilder in einer für Echtzeitsysteme ausreichender Latenz auszuwerten. Hierbei wurden bei vier Elementen eine kritische Grenze überschritten. Vor 10 Jahren waren PCs mit einem 486 CPU Kern und einer Taktfrequenz von 40 MHz, der schnellste IBM kompatible PC der kommerziell zu erwerben war. Im Vergleich werden Desktop PCs mit 4 GHz, Dualkernprozessoren oder Hyperthreadingtechnologie zu einem noch günstigeren Preis angeboten. Festplatten hatten damals eine Kapazität von 100 - 500 MByte, jeder PC wird heute mit mindestens 256 MByte RAM verkauft. Die Entwicklung der Technik in der Fotografie ist dazu analog fortgeschritten. Die analoge Kamera wird zunehmend durch die Digitalkamera ersetzt, deren Auflösung von normalerweise fünf oder sechs Megapixeln reicht. Übertragungstechniken wie Firewire, Camera Link oder USB2 als Standardschnittstellen sorgen dafür, dass die hochauflösende Bilder in Echtzeit übertragen werden. Aus diesen vier Hardware-Eigenschaften, Taktfrequenz, Speicherkapazität, Übertragungsrate und Auflösung lässt sich eine Abhängigkeit herleiten. Durch die Auflösung der digitalen Kameras wird für die Echtzeit-Bildverarbeitung eine Taktfrequenz benötigt, die eine Framerate von 25 Bildern in der Sekunde garantieren kann. Während eine größere Auflösung Speicherkapazität bedingt und um diese transportieren zu können, wird eine Übertragungsgeschwindigkeit benötigt.(4)

Mit diesen Entwicklungen ist die Datenverarbeitung in Echtzeit möglich geworden. Trotz der technologischen Entwicklung der Hardware, ist die Komplexität der Objekterkennung mehrerer Objekte mittels Computer zu verarbeiten, hoch. Bis die gewünschten Information gefiltert wurden, werden die Daten in mehreren Schritten verarbeitet. Zusätzlich ist der Wirkungsradius spezieller Verfahren begrenzt, z.b. ist der vorgestellte im Abschnitt 3.1 vorgestellte Laplace-Operator für Kontrastverstärkungen geeignet, aber für die Kantenerkennung nur bedingt geeignet.

### 2.1 Flächenkameras

Die digitale Bildverarbeitung unterstützt die Menschen bei der Arbeit oder nimmt ihm diese ab. Ein typisches Beispiel ist die Texterkennung oder auch OCR (Optical Character Recognition) genannt. Dieser erkennt in einem Bild, Buchstaben und wandelt diese in eine elektronische Form um, so dass sie später mit einer Textverarbeitung bearbeitet werden kann. Ein weiteres Beispiel ist in der Industriellen Automatisierung zu finden, dort werden maschinelle Werkstücke während oder nach der Verarbeitung auf Mängel untersucht. Werkstücke die über das Laufband laufen, benötigen Kameras deren Framerate es möglich macht defekte Teile auszusortieren. Die Firma Basler Vision bietet Kameras an, deren Parameterspektrum für unterschiedlichste Anwendungsanforderung ausreichen.(9) Im Folgenden wurden die Daten von zwei Flächenkameras recherchiert, beide können hochauflösende Bilder aufnehmen, welche folgende Anwendung möglich machen: Wafer Inspektion, Werkstückskontrolle, medizinische Aufnahmen usw...



Abb. 2: Flächenkamera „Scout Series“ der Firma Basler Vision (9)

Area Scan	A200	A400
Schnittstelle	Channel Link, Camera Link	Camera Link
Auflösung	1 Megapixel	4 Megapixel
Framerate	30-48 fps	24-96 fps

Tabelle 1: Vergleich der Flächenkamera-Daten A200 und A400 (9)

Die Firma bietet auch Zeilenkameras an, diese nehmen dann im Gegensatz zu Flächenkameras nur eine Zeile auf, diese werden dazu verwendet Bauteile auf Werkbändern zu inspizieren. Damit die Daten schnell genug übertragen werden, verwenden die Flächenkameras Channel und Camera Link Schnittstellen. Die Channel Link Technology besteht aus 4 Übertragungskanäle zu jeweils 8 Leitungen, die fünfte Leitung dient der Clock Synchronisation. (2) Channel Link kann bis zu 2.38 Gbits/s an Datenübertragungsrate erreichen. Eine Weiterentwicklung ist die Camera Link Spezifikation, diese basiert auf der Channel Link Technology. Sie bietet drei Modi an, im Base-Modus wird ein Channel Link Chip und ein Kabel benutzt, während der Medium-Modus zwei Chips und zwei Kabel gebraucht werden, der Full-Modus benötigt drei Chips und zwei Kabel, womit Camera Link bis zur dreifachen Übertragungsgeschwindigkeit des Channel Links erreichen kann.

### 3 Nachbarschaftsoperationen zur Kantenverstärkung

Für die Transparenz der Bildverarbeitungsgrundlagen und um die Komplexität im Rahmen behandeln zu können, werden Grauwertbilder analysiert. Deswegen beschränkt sich das Kriterium der hier vorgestellten Kanten Operatoren auf den Grauwert. Bei den hier vorgestellten lokalen Nachbarschaftsoperatoren, wird auf die Pixelwerte eine Ableitung angewandt. Besteht zwischen zwei benachbarten Bildpunkten ein starker Anstieg oder Fall des Grauwertes, kann davon ausgegangen werden, dass eine Kante vorherrscht. Hierzu wird die Ableitung erster Ordnung betrachtet, während man mit der zweiten Ableitung Nulldurchgänge detektiert. (5)

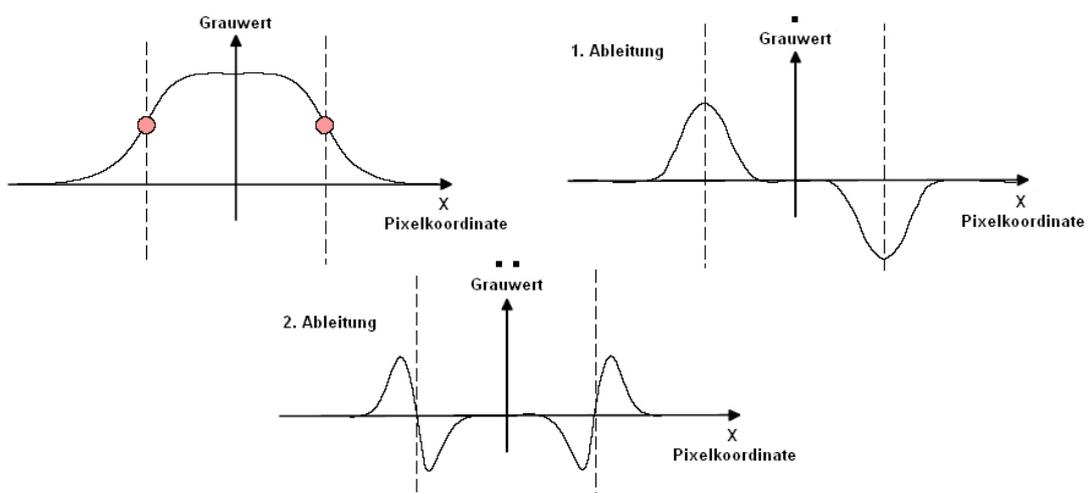


Abb. 3: Örtliche Ableitungen 1. und 2. Ordnung von Grauwertübergängen

Bildpunkte werden in einer Matrixform indiziert. Ansprechen kann man die einzelnen Pixel in Form einer  $f(M,N)$  Funktion, wobei M für die Spalte und N für die Zeile steht. Für ein Bild mit der Größe  $M \times N$  gilt die Gleichung 1.

$$\begin{pmatrix} f(0,0) & f(1,0) & \dots & f(M-1,0) \\ f(0,1) & f(1,1) & \dots & f(M-1,1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(0,N-1) & f(1,N-1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Für die Kanten Operatoren werden Nachbarschaftsoperatoren verwendet. Das Quellbild wird mit einem strukturierendes Element multipliziert und die Produkte aufsummiert, dann das Ergebnispixel in ein Zielbild gespeichert.(vgl. Gleichung 2)

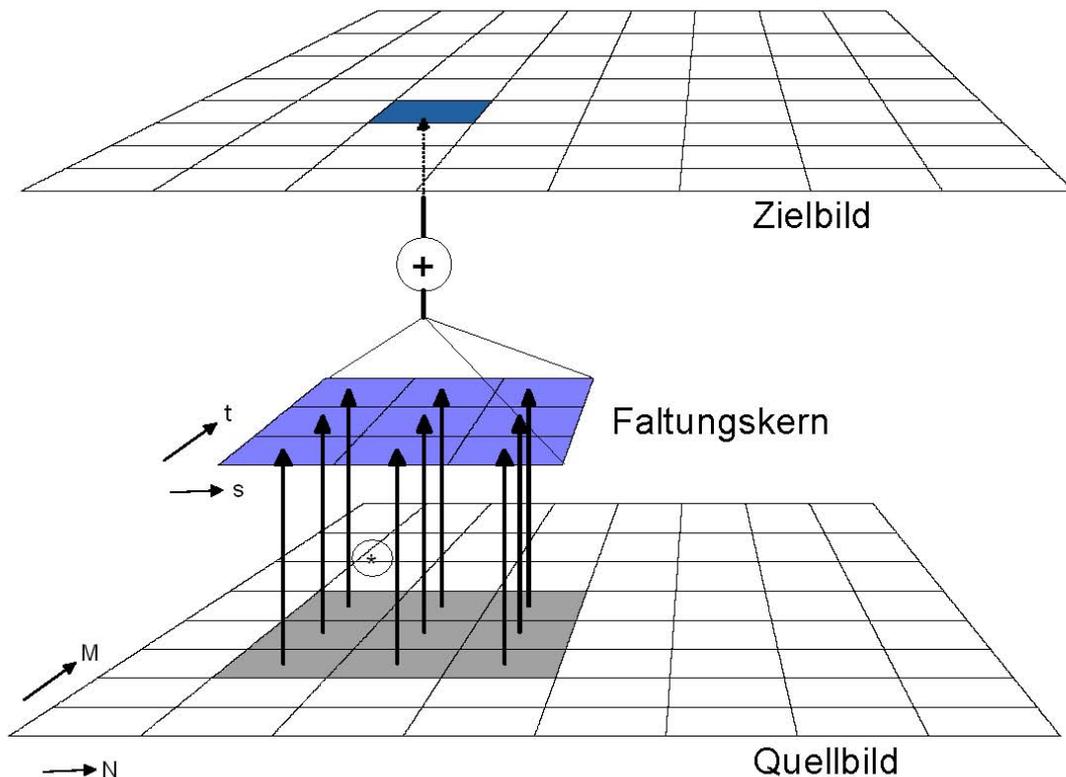


Abb. 4: Nachbarschaftsoperationen mit Summe von gewichteten Pixelwerte

$$f_{out}(M, N) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) \cdot f(M + s, N + t) \quad (2)$$

Wobei  $w(M, N)$  das strukturierende Element,  $f(M, N)$  das Quellbild und  $f_{out}(M, N)$  das Zielbild ist. In den einem Bezugspunkt  $f(M, N)$  wird das strukturierende Element symmetrisch aufgespannt. Die acht direkten Nachbarn des Bezugspunkt und der Punkt selber werden dann mit dem Faltungskern multipliziert. Diese Produkte werden aufsummiert und das Ergebnis in das Zielbild mit den Koordinaten des Bezugspunkt gespeichert. Das  $w(M, N)$  strukturierende Element wandert dabei über das komplette Bild, d.h. über jeden Pixel  $f(M, N)$  wird der Faltungskern aufgespannt. An den Rändern des Bildes besteht das Problem, dass das strukturierende Element über die Grenzen des  $f(M, N)$  hinausgeht, hier wird das Problem durch Spiegelung der Ränder gelöst, dadurch gibt es keine Verfälschung des Zielpixels am Rand. Die Kanten Operatoren, die dieser Seminararbeit behandelt wurden, unterscheiden sich in den Faltungskernen, jedoch nicht im Ablauf. Es gibt noch andere mögliche Verfahren zur Erkennung einer Kante, diese wurden von anderem Teilnehmer des Masterkurses behandelt. In den folgenden Abschnitten ist x synonym für M und y für N.

### 3.1 Laplace Operator

Der Laplace Operator ist ein Kantenfilter 2.Ordnung und er erzeugt Nulldurchgänge als Rechenergebnis für Kanten.(vgl. Gl. 3, Abb. 3)

$$L = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

Die Approximationen der partiellen Ableitungen lauten:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\partial f}{\partial x} \left( \frac{f(x+1, y) - f(x, y)}{(x+1) - x} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \left( \frac{f(x+1, y) - f(x, y)}{(x+1) - x} \right) - \left( \frac{f(x, y) - f(x-1, y)}{x - (x-1)} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) \quad (6)$$

Man erhält also für x:

$$L_x = f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) \quad (7)$$

Analog gilt für y:

$$L_y = f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1) \quad (8)$$

Wandelt man die Gleichungen 7 und 8 in Filtermasken um, entstehen folgende Faltungskerne:

$$L_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad L_y = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$L_x + L_y = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Aus einer Funktion 2. Ordnung werden zwei Funktionen erster Ordnung gewandelt.

#### Zusammenfassung zum Laplace Operator

Der Laplace Operator verwendet einen Faltungskern. Folglich entsteht durch das Anwenden des Faltungskern ein Ausgangsbild. Um die Wirkungsweise darzustellen wird im Folgenden der Laplace Operator auf ein Bild angewandt.

Am Originalbild wurde im Nachhinein ein Rauschen hinzugefügt, daher sind kleine Punkte im Ausgangsbild zu sehen. Des Weiteren wurde das Ausgangsbild um einen Schwellwert binarisiert. Da der Laplace Operator auf der zweiten Ableitung basiert, ist er sehr sensitiv gegenüber Grauwertänderungen. Daraus ergibt sich der Nachteil, das kleinste Änderungen erfasst werden. Dieser Operator macht dabei keinen Unterschied zwischen Rauschen und wirklichen Kanten. Um das Rauschen abzuschwächen, ist es sinnvoll ein Filter anzuwenden. Dafür eignet sich insbesondere der Median-Filter, der als Rangordnungsfiler im Gegensatz zu lineare Tiefpassfilter eine geringere Kantenabschwächung erzeugt.



Abb. 5: Anwendung des Laplace Operators auf ein Grauwertbild mit künstlicher Rauschstörung

### 3.2 Sobel Operator

Der Sobel Operator realisiert ein Kantenfilter 1. Ordnung. Die Formel für diesen Nachbarschaftsoperator lautet:

$$G_X = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}, G_Y = \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$$

Daraus ergeben sich folgende Faltungsmasken:

$$G_X = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad G_Y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Der Sobel Operator ist im Gegensatz zum Laplace richtungsabhängig, d.h. es werden zwei Faltungskerne angewandt und 2 Ausgangsbilder erzeugt. Bei der 1 2 1 Form handelt es sich um eine Binominal Verteilung, diese verhindert die Entstehung von Artefakten und macht das Filter unempfindlicher gegenüber Störungen. (8) Des Weiterem berechnet der Sobel Operator, im Gegensatz zum Laplace Operator, die Stärke und die Richtung des Anstiegs.

$$G = \sqrt{G_X^2 + G_Y^2} \quad (11)$$

$$\alpha = \arctan \frac{G_X}{G_Y} \quad (12)$$

Aus den beiden Ausgangsbildern lässt sich jeweils ein Vektor für jeden einzelnen Bildpunkt erzeugen, bestehend aus Richtung und Betrag. Der Sobel Operator approximiert ein Gradienten-Filter (7). Im nächsten Bild wurde auf das Ursprungsbild der Sobel Operator angewandt. Es werden 2 Bilder erzeugt, eins für die Steigung in X und eins in Y Richtung. Positive Steigungen sind im Bild schwarz dargestellt und negative weiß.

#### Zusammenfassung des Sobel Operator

Der Wert des Gradientenbetrages ist äquivalent zur Relevanz der Kante, kleine Anstiege der Grauwerte können von der Kantenerkennung als irrelevant betrachtet werden. Gibt es also zwischen zwei Nachbarn nur einen kleinen Grauwertanstieg, kann das von der Kantenerkennung als 'keine Kante' klassifiziert werden. Sind also die Lichtverhältnisse schlecht ist es möglich, dass der Operator keine Kante erkennt, obwohl bei guter Beleuchtung das Gegenteil der Fall wäre. Die Anwendung

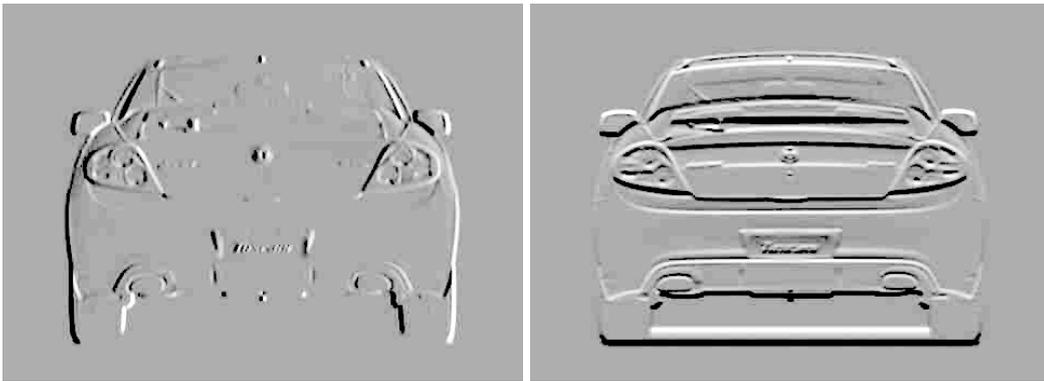


Abb. 6: Anwendung des Sobel Operator auf ein Grauwertbild

des Sobel Operators hat für die Bildverarbeitung eine größere Relevanz, als der Laplace Operator. Im folgenden Abschnitt ist die Richtung und der Betrag des Gradienten für einige Verfahren Voraussetzung.

## 4 Kanten- und Linienerkennungsverfahren

Aus dem Abschnitt 3 geht hervor, dass ein Kantenbild keine Information über die Zugehörigkeit einer Kante zum Objekt enthält. Kantendetektoren können und sollen keine Abhängigkeiten zwischen Bildelementen feststellen. Dafür sind Linienerkennungsalgorithmen zuständig, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Es werden zwei Verfahren zur Linienerkennung erläutert. Dabei setzt das erste Verfahren voraus, dass ein Gradientenfilter wie der Sobel Operator, angewandt wurde. Hier handelt es sich um ein paralleles Linienerkennungsverfahren, während das zweite Verfahren sequentiell arbeitet.

### 4.1 Parallele Linienerkennung mit Gradientenfilter

Bei der hier vorgestellten Linienerkennung werden zwei Bilder miteinander verglichen, um eine Übereinstimmung zu detektieren. Das Rangfolgebild verwendet den Betrag und das Richtungssystematikbild die Richtung des Gradienten. Betrag und Richtung des Gradienten erhält man durch die Anwendung eines Gradientenfilter. Durch den Abgleich lässt sich feststellen, ob eine Linie vorhanden ist. Ist dies der Fall, wird das Ergebnis in ein Linienbild gespeichert.

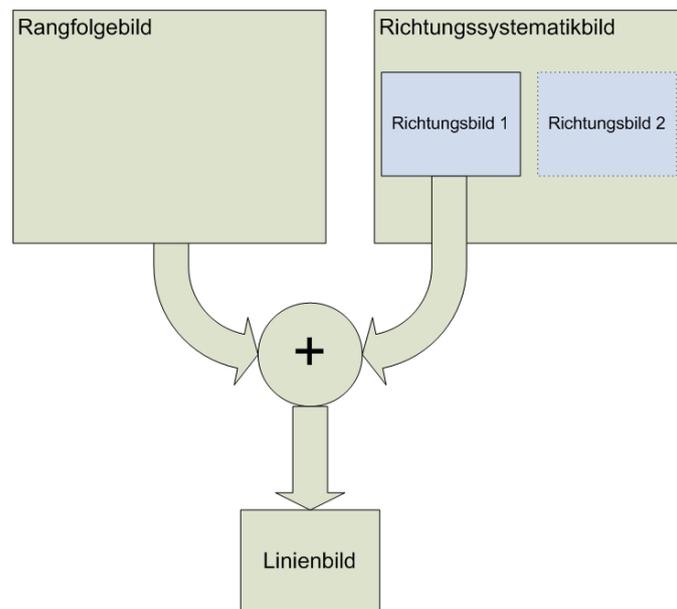


Abb. 7: Linienerkennung durch das Zusammenführen von Rangfolge- und Richtungsbild

### Rangfolgebild

In diesem Beispiel werden in einer 3x3 Matrix die Grauwertbeträge der Größe nach sortiert. Jeder Grauwertbetrag erhält einen Rang bezüglich seiner Größe. Der höchste Betrag erhält den höchsten Rang, der zweit höchste den zweiten usw... Danach wird ein Schwellwert festgelegt und die Grauwerte die höher oder gleich des Schwellwerts sind, werden als Kante angenommen. Alle Punkte die einen niedrigeren Rang besitzen werden aus dem Kantenbild ausgeschlossen. Es entsteht ein binarisiertes Bild, wo 1 die Kante markiert.

$$|G| = \begin{pmatrix} 54 & 16 & 176 \\ 43 & 4 & 243 \\ 95 & 145 & 14 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 8 \\ 4 & 1 & 9 \\ 6 & 7 & 2 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

### Gradientenbeträge, Rangfolgebild und Binarisiertes Bild

Eine Herausforderung ist die Behandlung von gleichen Grauwertbeträgen. Ordnet man Ihnen den höchsten Rang zu, werden in homogenen Umgebungen alle Elemente als Kanten erkannt. Weist man ihnen den kleinsten Rang zu, kann es zu Unterbrechungen in der Linie kommen. Am besten wird dies durch eine Mittlung und Rundung über die in Frage kommenden Rangpositionen berechnet. Eine weitere Herausforderung ist die Festlegung des Schwellwerts in relativ homogenen Bildumgebungen. Hier wird die Schwelle über Mittlung durchgeführt.

### Richtungssystematikbild

Die Richtung des Gradienten berechnet sich aus einer Arcustangensfunktion. Zugegen ist die Fließkomma-Zahl Berechnung des Arcustangens aufwendig. Besser ist es die Grauwerte in X und Y Richtung zu skalieren und die Werte über ein Umgebungsquadrat zu verteilen. So wird im Beispiel aus dem Kreiswinkel  $\frac{\pi}{2}$  die Richtung 6,  $\pi$  die Richtung 12 usw.

Durch das Verwenden einer Skalierung wird die rechenintensive Arcustangensfunktion vermieden. Ebenfalls dient diese als Basis für die weitere Bearbeitung. Im zweiten Schritt werden die skalierten Richtungen entlang des grauen Pfades untersucht. (siehe Abb.9) Die Richtungen, die entlang des grauen Pfades innerhalb einer Toleranz liegen, kommen als Kante in Betracht. Dagegen werden Richtungen die nicht zu einer Kante gehören im Bild rot dargestellt. Wichtig in diesem Verfahren ist die Definition der Richtungstoleranz, denn nicht alle abweichende Richtungen werden verworfen. Durch die geschickte Bestimmung der Richtungstoleranz können Linie erkannt werden, die einen

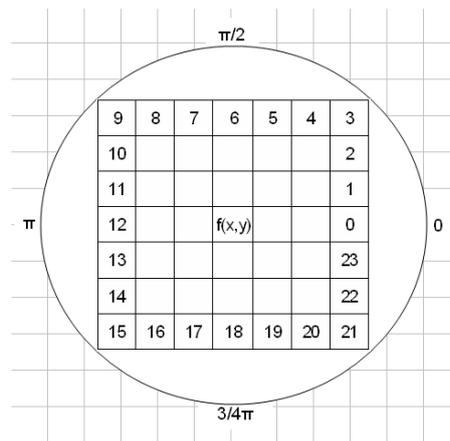


Abb. 8: Skalierung des Kreises ein Umgebungsquadrat

Knick oder Bogen machen.

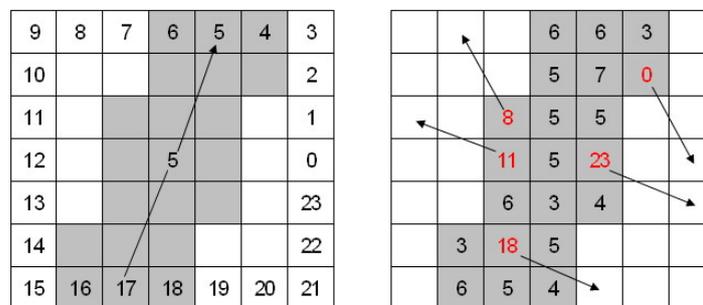


Abb. 9: Die Untersuchung der Richtungen entlang des Pfades

Eine Alternative ist die Betrachtung der direkten Richtung entlang der Hauptrichtung. Im Gegensatz zu Abb.9 werden die Nachbarn nicht ausgewertet. Zusätzlich wird der Pfad in Teilabschnitten aufgeteilt und die durchschnittliche Richtung auf einem Teilabschnitt berechnet. So das am Ende die Summe der absoluten Abweichung von dem Bezugspunkt berechnet werden kann. Ob nun eine Linie vorhanden ist, ist von der Summe der Abweichung abhängig, welche wiederum individuell definiert werden kann.

### Zusammenfassung

Aus einer kombinierten Betrachtung der Rangfolge- und Richtungssystematikbilder kann abgeleitet werden, ob nun eine Richtungssystematik vorliegt. Während die Rangfolge eine gute Geschlossenheit von Kanten feststellt, kann die Richtungssystematik aus stark verrauschten oder homogenen Bildern Kantenstücke erkennen. Das Endergebnis sind Binärbilder, die eine Linie zeichnen. Am Rangfolgebild werden adaptierbare Schwellwertbilder benötigt, um diese nicht zu verfälschen ist es sinnvoll einen Rauschfilter zu benutzen. Hier wird nochmal auf den Median Filter im Abschnitt 3.1 hingewiesen. Bei größeren Matrizen benötigt die Anwendung für die Echtzeitfähigkeit eine schnellere Berechnung. Hier ist es sinnvoll dedizierte Hardware zu benutzen, die Teilabläufe parallelisieren.(1)

## 4.2 Sequentielle Verfahren zur Linienverfolgung

Bei der sequentiellen Linienverfolgung wird nicht wie bei dem vorherig beschriebenen Verfahren der direkte Nachbar betrachtet, sondern Ansatzpunkte, deren Distanz zwischen Startpunkt und der

Verfolgungslinie relativ groß ist, gesetzt. Über ein Gitternetz werden Ansatzpunkte für die Linienverfolgungspunkte erkannt. Für das Setzen von Linienverfolgungspunkten werden die Grauwerte verwendet. Die Kriterien für solche Verfahren ist die Robustheit. Wenn die Linie unterbrochen wird, darf der Algorithmus nicht versagen. Ebenfalls muss die Linie bei parallele oder verzweigte Linien, sowie bei Helligkeits- und Kontraständerungen erkannt werden.

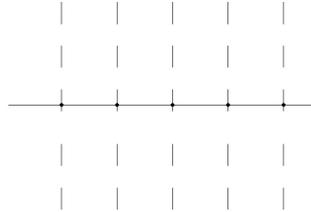


Abb. 10: Gitternetz zur Bestimmung des Nachfolgepunktes der Linienverfolgung

Ausgehend vom Startpunkt aus werden Suchstrahlen ausgesendet. Entlang dieser Suchstrahlen wird der Grauwert untersucht, liegt dieser Wert im bestimmten Bereich, ist eine Linie entlang dieses Suchstrahls vorhanden. Bei diesem Verfahren werden kleine Unterbrechungen entlang der Linie durch den Mittelwert unterdrückt. Versagen tut diese Vorgehensweise bei starken Kontraständerungen. Hier kann es vorkommen, dass der Algorithmus auf verzweigte oder parallele Linien verweist und einen falschen Nachfolgepunkt der Linienerkennung ansetzt.

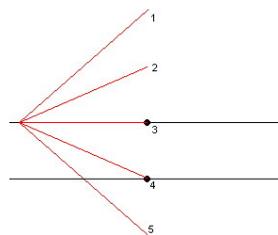


Abb. 11: Untersuchung des Grauwerts entlang der Suchstrahlen

Eine andere Strategie ist es einen Kreisbogen um den Startpunkt zu ziehen. Die Grauwertprofile entlang des Radius werden untersucht. Damit werden Kontraständerungen und Unterbrechungen entlang der Linie vollkommen überbrückt. Verzweigende und parallele Linien können erkannt werden, aber es setzt nicht bei dem falschen Nachfolgepunkt an. Jedoch schlägt diese Methode bei starken Kontrastdifferenz zwischen Startpunkt und Nachfolgepunkt fehl.

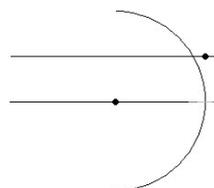


Abb. 12: Untersuchung des Grauwerts entlang eines Kreisbogens

Gelöst wird das o.g. Problem durch das Verwenden von mehreren Kreisbögen mit unterschiedlichem Radius. Dabei werden Unterbrechungen ignoriert, parallele und verzweigende Linien erkannt und Kontrastdifferenzen überbrückt werden. Aus Effizienzgründen wird der Radius durch ein Gitter ersetzt, damit werden Fließkomma-Zahlen Rechnungen vermieden.

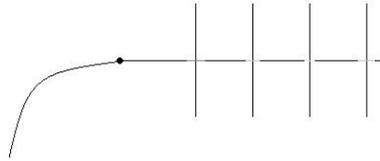


Abb. 13: Gitternetz zur Linienverfolgung

## 5 Zusammenfassung

Für die Erweiterung des Sensornetzwerks am FAUST-Fahrzeug wurden die Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung erarbeitet. In dieser Seminararbeit wurden die ersten Schritte zur Objekterkennung erläutert und eine Kette von Verarbeitungsschritten vorgestellt. Aus einem digitalen Bild werden die Kanten detektiert, hier zeigte sich, dass lokale Nachbarschaftsoperatoren die einen Gradientenfilter approximieren, als geeignete Methode zur Erkennung von Objekten dient. Die Daten die durch die Anwendung des Sobel-Operators gewonnen wurden, konnte im nächsten Schritt zur Segmentierung von Objekten genutzt werden. Aus der Vereinigung von Rangfolge- und Richtungssystematikbilder, lässt sich ein Linienbild erzeugen, welche die Grenzen des Objekts repräsentieren. Basierend auf die erarbeitete Kenntnisse kommen folgende Themen als Masterarbeit in Betracht:

- Sensorfusion des Lasers mit der Kamera gemäß (3)
- Entwicklung spezieller Hardware für die Anwendungskette.

Mittels Sensorfusion des Lasers und der Kamera würden die Bereiche, Entfernungsmessung und Objekterkennung abgedeckt. Verbindet man die Objekterkennung mit einem Kalman-Filter, könnte damit die Objektverfolgung durchgeführt werden. Zusätzlich würde mit einer Objekterkennung, könnte die Beschaffenheit der Straße mittels Texturerkennung analysiert werden. Damit würden drei Komponenten des Weltmodells erfasst werden.(3) Bevor jedoch auf die Objektverfolgung eingegangen werden kann, muss das Objekterkennungs Thema abgeschlossen werden. Weitere Themen seien hier Segmentation und Klassifikation von Objekten. Hier sei auf weitere Recherche bezüglich Shape Matching und Neuronale Netze. Es wird nötig sein spezielle Bildverarbeitungshardware einzusetzen, da die Software es alleine nicht schaffen wird Kanten und Linien in Echtzeit zu ermitteln, hier handelt es sich um parallele Prozesse die von der Hardware effizienter berechnet werden können

## Literatur

- [1] ALFRED NISCHWITZ, Peter H.: *Masterkurs Computergrafik und Bildverarbeitung*. Vieweg, 2004. – ISBN 3–528–05874–9
- [2] ASSOCIATION, Automated I. *Camera Link Specification*, [www.photonfocus.com](http://www.photonfocus.com). 2004
- [3] DIETMAYER, Klaus C. J. ; SPARBERT, Jan ; STRELLER, Daniel: *Model Based Object Classification and Object Tracking in Traffic Scenes from Range Images*. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2001
- [4] JÄHNE, Bernd: *Digitale Bildverarbeitung*. Springer, 2005. – ISBN 3–540–24999–0
- [5] MEISEL, Andreas. *WP Robot Vision, Handout zur Vorlesung*. 2006

- 
- [6] PRÖHL, Andreas: *Entscheidungsstrategien und Steuerungskonzepte eines Kollisionsvermeidungssystems*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Seminararbeit, 2006
- [7] SCHÜLING, Jürgen: *VHDL-Synthese von Bildsegmentierungsalgorithmen für einen FPGA-Coprozessor*, Diplomarbeit. HAW Hamburg, 2000
- [8] STEINBRECHER, Rainer: *Bildverarbeitung in der Praxis*. Oldenbourg, 1993. – ISBN 3–486–22372–0
- [9] TECHNOLOGYS, Basler V. *Flächenkameras*, [www.baslerweb.com](http://www.baslerweb.com). 2007