

Reinhard Klette
Piero Zamperoni

**Handbuch
der
Operatoren
für die
Bildbearbeitung**

Aus dem Programm

Technische Informatik

Rechnerstrukturen und Rechnerarchitektur,
von W. Bundschuh und P. Sokolowsky

Digitalrechner-Grundlagen und Anwendungen,
von W. Ameling

Aufbau und Arbeitsweise von Rechenanlagen,
von W. Coy

System- und Signaltheorie,
von O. Mildenberger

Informationstheorie und Codierung,
von O. Mildenberger

Datenkommunikation,
von D. Conrads

Datenfernübertragung,
von P. Welzel

Digitale Kommunikationssysteme I,
von F. Kaderali

Digitale Signalverarbeitung,
von A. van den Enden und N. Verhoecks

Optical Recognition of Chinese Characters,
von R. Suchenwirth et al.

Photogrammetrische Erfassung räumlicher Informationen,
von R. Föhr

Einfache Architekturphotogrammetrie,
von R. Richter

Vieweg

Reinhard Klette
Piero Zamperoni

Handbuch der Operatoren für die Bildbearbeitung

Bildtransformationen
für die digitale Bildverarbeitung

Mit 70 Bildern



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Klette, Reinhard:

Handbuch der Operatoren für die Bildbearbeitung:
Bildtransformationen für die digitale Bildverarbeitung /

Reinhard Klette; Piero Zamperoni. – Braunschweig;

Wiesbaden: Vieweg, 1992

ISBN 978-3-528-06431-0

ISBN 978-3-322-90612-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-90612-0

NE: Zamperoni, Piero:

Das in diesem Buch enthaltene Programm-Material ist mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Der Autor übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieses Programm-Materials oder Teilen davon entsteht.

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Verlagsgruppe Bertelsmann International.

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig / Wiesbaden, 1992

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1992



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Die Bildbearbeitung ist jene Teildisziplin der digitalen Bildverarbeitung, welche Abbildungen von Bildern auf Bilder zum Gegenstand hat. Diese Abbildungen können zum Zwecke der Bildverbesserung, Bildrestauration, Objektmarkierung u.a.m. ausgeführt werden. Bilder werden im Gebiet der Bildbearbeitung als ikonische Daten, d.h. in unmittelbar bildhafter Repräsentation, behandelt. Mit Desktop-Publishing-Systemen ist zum Beispiel ein moderner Anwendungsbereich der Bildbearbeitung gegeben.

Mit dem Oberbegriff digitale Bildverarbeitung wird im deutschsprachigen Bereich i.a. jenes Fachgebiet bezeichnet, das im englischsprachigen Bereich als Computer Vision bezeichnet wird. Es geht hierbei allgemein um die rechnerbasierte Bearbeitung, Auswertung, Klassifizierung und Interpretation von bildhaften Informationen. Dabei ist der Bereich der Bildbearbeitung, der im vorliegenden Buch behandelt wird, allgemein für eine erste Phase der digitalen Bildverarbeitung zuständig, in welcher "schönere Bilder", besser analysierbare Bilder oder Bilder mit hervorgehobenen Bildmerkmalen produziert werden. Diese Bildbearbeitung ist für eine interaktive Bildbewertung bereits ausreichend, falls die analytischen Prozesse beim Menschen ausgeführt werden. Die Bildanalyse ist eine weitere Teildisziplin der digitalen Bildverarbeitung, welche die zunehmende Ablösung des Menschen bei der Ausführung analytischer Prozesse durch rechnerbasierte Lösungen zum Gegenstand hat.

Die bildanalytischen Fragestellungen lassen sich nach der Natur der zu analysierenden Bildinformationen in den Bereich der Musteranalyse oder der Szenenanalyse einordnen. Bei der Musteranalyse werden Bildinhalte nur bezüglich ihrer zweidimensionalen Interpretierbarkeit untersucht. Typische Anwendungsbeispiele sind die Erkennung bzw. Klassifizierung von Handschriften, von gedruckten Zeichen, von Zellen in biomedizinischen Aufnahmen oder von verschiedenen Flächennutzungen in Luftaufnahmen der Erdoberfläche. Bei der Szenenanalyse werden Bildinhalte bezüglich ihrer dreidimensionalen Interpretierbarkeit untersucht. Hier sind als Anwendungsbereiche visuelle Sensoren für Roboter, die Kamera-Überwachung von Straßenkreuzungen oder das automatisierte Navigieren von Fahrzeugen zu nennen.

Diese analytischen Bereiche der digitalen Bildverarbeitung stehen nicht im Zentrum des vorliegenden Buches. Sie werden nur als Motivierung für bestimmte Abbildungen von Bildern auf neu zu berechnende Bilder mit angesprochen. Die Behandlung der Teildisziplin Bildbearbeitung erfolgt dabei im vorliegenden Buch mit der Zielrichtung, unmittelbar anwendbare Verfahren und Algorithmen für eine zügige Einarbeitung in eigene Lösungen bereitzustellen. Das Buch ist derart für einen eigenständigen Umgang mit Bildverarbeitungssystemen als Unterstützung gedacht. Es sollte nach unseren Intentionen auch als Nachschlagewerk zu nutzen sein, um zu gewünschten Abbildungen von Bildern auf "neue Bilder" gezielt methodische oder algorithmische Anregungen oder Anleitungen zu erhalten. Im Buch wird im wesentlichen die Bearbeitung von Grauwertbildern beschrieben.

Die Autoren bedanken sich bei Frau P. Röttger (Braunschweig) für die sorgfältige Zeichnung von Abbildungen, bei Frau S. Hagedorn (Berlin) für das Schreiben von Teilen des Manuskriptes und bei Herrn B. Boukari (Braunschweig) für die Programmierung des LoG-Filters. Frau G. Teistler (Braunschweig) sowie den Herren G. Bellaire (Berlin), Dr. A. Koschan (Berlin) und K. Schlüns (Berlin) gebührt Dank für teilweises Korrekturlesen des Manuskriptes. Für Abbildung 4.4 ist Herrn G. Bellaire und für Abbildung 7.13 ist Herrn W. Schwanke (Berlin) zu danken.

Reinhard Klette
TU Berlin

Piero Zamperoni
TU Braunschweig

Hinweise für den Leser

Dieses Buch ist als *Handbuch* bzw. *Nachschlagewerk* für die selbständige Implementierung von Bildbearbeitungsoperatoren konzipiert.

Die Kapitel 1 bis 3 haben fundierenden Charakter, in den Kapiteln 4 bis 7 sind die Operatoren zusammengestellt.

Wenn Sie zunächst nur etwas zum Gesamtanliegen des Gebietes der digitalen Bildverarbeitung erfahren wollen, so kann mit Kapitel 2, speziell Abschnitt 2.1, begonnen werden.

Falls Sie bereits mit dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung (etwas) vertraut sind, so können Sie sofort zielgerichtet in den Kapiteln 4 bis 7 nachschlagen. Allerdings sollten Sie bei Realisierungen gemäß Kapitel 5 oder 6 die Implementierung mit der Bereitstellung von einer oder mehreren Kontrollstrukturen im Sinne von Abschnitt 3.3.3 beginnen, in welche dann der Operatorkern bzw. die Fensterfunktion des ausgewählten lokalen oder Punktoperators flexibel einbindbar ist. Bei dieser Vorgehensweise dürften eventuell auftretende Fragen durch ein Nachschlagen in den fundierenden Kapiteln 1 bis 3 zu beantworten sein.

Im Glossar in Abschnitt 2.2 werden Begriffe kurz erläutert, die eventuell von Ihnen zur (gedanklichen) Formulierung von Zielen bei der Auswahl eines zu realisierenden Operators herangezogen wurden. Ihr Ziel kann etwa sein, "den Kontrast zu verbessern" oder "einen Postereffekt" zu erzielen. Dann können Sie in 2.2 zunächst nachschlagen, ob Ihr Verständnis der Begriffe "Kontrast" oder "Postereffekt" sich mit der im vorliegenden Buch verwendeten Interpretation deckt (das Sprachgewirr ist in einer lebendig wachsenden Disziplin wie der digitalen Bildverarbeitung immer noch sehr groß), und dann gemäß Verweis (nach dem Zeichen \diamond) in den angegebenen Abschnitten konkrete Operatoren in der relevanten Richtung finden. In den Kapiteln 4 bis 7 werden Bildbearbeitungsoperatoren zum Nachschlagen und Nachvollziehen (auf Ihrem Bildverarbeitungssystem) bereitgestellt. In diesen Kapiteln werden gewisse Begriffe und algorithmische Strukturen verwendet, die in den Kapiteln 1 bis 3 entwickelt wurden bzw. zusammengestellt sind. Hier kann das Glossar für ein Nachschlagen der Bedeutung von Fachbegriffen nützlich sein.

Sie können natürlich auch über das Sachwortverzeichnis am Ende des Buches den gewünschten Operator auswählen, falls Sie diese –mit dem Glossar mögliche– inhaltliche Rückkopplung nicht benötigen.

Die Kapitel 1 bis 3 brauchen in jedem Falle nicht wie bei einem Lehrbuch erst sorgfältig studiert werden, um Sinn und Realisierung der in den Kapiteln 4 bis 7 zum Nachschlagen bereitgestellten Operatoren zu verstehen. Kapitel 1 bis 3 spielen etwas die Rolle der "Pflicht", bevor in den Kapiteln 4 bis 7 die "Kür" folgt. Ein erstes Überfliegen der Kapitel 1 bis 3 sollte zu Beginn genügen, um sich über den Inhalt dieser drei Kapitel grob zu informieren und damit für späteres Nachschlagen eine Orientierung zu besitzen. Bei der Auswahl von Operatoren in den Kapiteln 4 bis 7 wird ein zielgerichtetes Lesen in den Kapiteln 1 bis 3 allerdings gelegentlich erforderlich sein.

Die Beschreibung jedes einzelnen Operators der Kapitel 4 bis 7 ist in Punkte 1 bis 5 gegliedert:

1. Charakterisierung

Hier wird versucht, die Wirkungsweise des Operators möglichst knapp zu beschreiben, damit der Leser beim Nachschlagen überprüfen kann, ob er auf seiner Suche auf dem richtigen Weg ist. Weitere Einzelheiten zur Wirkungsweise sind in Punkt 3 enthalten.

Unter "Attribute" wird auf die in den Abschnitten 1.1.3, 1.3.1 und 1.4 enthaltenen Synopsen Bezug genommen. Hier sind aufgelistet:

- die Art der Bilder, für welche der Operator sich eignet,
- der Operortyp und
- Stichworte zur Charakterisierung des Operatorkernelns.

Unter "Eingaben" findet man die Parameter des Operators (z.B. Fenstergröße, gewünschte Variante usw.), die vom Nutzer beim Programmlauf eingegeben werden müssen.

2. Mathematische Definition

Hier werden die Beziehungen zwischen Originalgrauwerten bzw. Pixeln im Eingabebild und Resultatsgrauwerten bzw. Pixeln im Ergebnisbild in mathematisch-formaler Form ausgedrückt.

3. Einzelheiten

Es werden die Wirkungsweise des Operators, seine Anwendung und besonders der Zusammenhang zwischen den durchgeführten Operationen und dem erreichbaren Effekt ausführlich erläutert. Es wird auch auf algorithmische Aspekte der Durchführung (Punkt 4) und auf eventuelle Maßnahmen zur Verkürzung der Rechenzeit hingewiesen. Der methodische Hintergrund des jeweiligen Operators wird kurz erläutert und mit Verweisen auf relevante Vorarbeiten bzw., bei Grundmethoden der digitalen Bildverarbeitung, auf Lehrbücher belegt.

4. Durchführung

Die praktische Realisierung des Operators ist in Form von einem Pseudo-Programm angegeben. In Anlehnung an höhere Programmiersprachen wurde dafür eine fiktive Sprache verwendet, deren Befehle für den in der Programmierung (etwas) erfahrenen Leser eine intuitiv klare Bedeutung haben und in welcher bei Bedarf manche (unschwer formalisierbaren) Vorgänge auch nur informal beschrieben werden. Auf diese Weise ist der Leser in der Lage, das angegebene Pseudo-Programm in seine gewohnte Programmiersprache umzusetzen und in den Rahmen des ihm zur Verfügung stehenden Bildverarbeitungssystems einzubinden.

Immer dann, wenn der Operator Kern in eine der allgemeinen Kontrollstrukturen von Abschnitt 3.3.3 zur Verwaltung der Bilddaten ohne weiteres eingefügt werden kann, wird nur der Operator Kern beschrieben und es wird auf die passende Kontrollstruktur hingewiesen. Ansonsten wird die Kontrollstruktur explizit angegeben.

Die Kontrollstrukturen berücksichtigen den Fall, daß mit einem Hauptspeicher gearbeitet wird, für den ein zeilen- oder spaltenweises Einlesen von Bilddaten als angemessen erscheint.

5. Literaturhinweise

Diese Beispiele relevanter Literaturstellen beziehen sich in der Numerierung auf das Literaturverzeichnis am Ende des Buches.

Inhaltsverzeichnis

1 Bilder, Fenster und Operatoren	1
1.1 Bilder	1
1.1.1 Diskrete Bildpunktkoordinaten	2
1.1.2 Diskrete Bildwerte	5
1.1.3 Mehrkanalige Bilder	6
1.2 Bildausschnitte	12
1.2.1 Fenster	12
1.2.2 Bildfenster	16
1.3 Fensterfunktionen	18
1.3.1 Klassen von Fensterfunktionen	19
1.3.2 Beispiele von Fensterfunktionen	22
1.4 Operatoren	29
2 Grundbegriffe der digitalen Bildverarbeitung	35
2.1 Aufgabenstellungen	36
2.2 Glossar von Grundbegriffen	38
2.3 Beispiele für Bildbearbeitungsaufgaben	62

3	Algorithmische Grundlagen	68
3.1	Algorithmische Effizienz	69
3.2	Bilddaten	76
3.3	Kontrollstrukturen	77
3.3.1	Anzahl der Bildspeicherbereiche	79
3.3.2	Teilprozesse	80
3.3.3	Standard-Kontrollstrukturen	89
3.4	Hilfsfunktionen	93
3.4.1	Prozedur <i>RAN</i>	93
3.4.2	Prozedur <i>RND-NORM</i>	95
3.4.3	Prozedur <i>FREQUENCE</i>	96
3.4.4	Prozedur <i>MAXMIN</i>	97
3.4.5	Prozedur <i>SELECT</i>	98
3.4.6	Prozedur <i>BUBBLESORT</i>	100
3.4.7	Prozedur <i>SHELLSORT</i>	101
3.4.8	Prozedur <i>MERGESORT</i>	102
3.4.9	Prozedur <i>BUCKETSORT</i>	103
3.4.10	Prozedur <i>FFT</i>	104
4	Koordinatentransformationen und geometrische Operatoren	108
4.1	Eindeutige Koordinatentransformationen	108
4.1.1	Bildspiegelung	110
4.1.2	Bildverschiebung	111
4.1.3	Bilddrehung um 90°	113
4.2	Verkleinerung und Vergrößerung	114

4.2.1	Bildverkleinerung auf einen Quadranten	115
4.2.2	Bildvergrößerung um den Faktor 2	117
4.2.3	Pyramide	118
4.3	Affine Transformation	122
5	Grauwerttransformationen und Punktoperatoren	125
5.1	Grauwerttransformationen	125
5.1.1	Amplitudenskalierung in einem Bildbereich	125
5.1.2	Streckung der Grauwertskala	127
5.1.3	Transformation der Grauwertkennlinie	128
5.1.4	Egalisierung des Grauerthistogramms	130
5.2	Erzeugung von gestörten Bildern	132
5.2.1	Störung durch Punktrauschen	133
5.2.2	Erzeugung von verrauschten Bildern	134
5.3	Binarisierung von Grauwertbildern	136
5.3.1	Binarisierung mit Hysterese	136
5.3.2	Rekursives Binarisierungsverfahren	139
5.4	Punktweise Verknüpfungen von zwei Bildern	141
5.4.1	Synthetische Hintergrundkompensation	141
5.4.2	Stückweise lineare Hintergrundkompensation	142
5.4.3	Operationen zwischen zwei Bildern	146
5.4.4	Mehrkanalbilder	148
5.5	Mehrschwellenverfahren zur Segmentierung	151
5.5.1	Erzeugung eines Äquidensitenbildes	151
5.5.2	Mehrschwellenverfahren mittels Histogramm-Extrema	153

5.5.3	Schwellenbestimmung nach einem stückweise linearen Modell der Grauwertfunktion	157
6	Fensterfunktionen und lokale Operatoren	164
6.1	Glättung und Rauschunterdrückung	164
6.1.1	Lineare Faltung mit beliebigem Faltungskern	165
6.1.2	Glättung mit einem separierten Spalttiefspaß	168
6.1.3	Glättungsfilter mit Binomialkoeffizienten	172
6.1.4	Glättung in einer ausgesuchten Nachbarschaft	175
6.1.5	Tilgung kleiner Objekte in Zweipegelebildern	176
6.2	Kantenextraktion	178
6.2.1	Einseitiger Kantenoperator	179
6.2.2	Klassische Kantenoperatoren	180
6.2.3	Morphologischer Kantendetektor	184
6.2.4	Laplacian-of-Gaussian-Filter	186
6.3	Erhöhung der Bildschärfe und Texturhervorhebung	193
6.3.1	Extremwertoperator	193
6.3.2	“Unsharp masking” und Binarisierung mit gleitender Schwelle	196
6.3.3	“Inverse contrast ratio mapping”	199
6.4	Regionenbildung und Bildnäherung	201
6.4.1	Agglomerationsoperator	201
6.4.2	Konkavitätsauffüllung bei Grauwertbildern	205
6.4.3	Hervorhebung des Mode	208
6.5	Rangordnungsoperatoren	212
6.5.1	Medianfilterung und nichtlineare Erhöhung der Bildschärfe .	212

6.5.2	Minimum und Maximum (Erosion und Dilatation)	215
6.5.3	Rangordnungsoperator mit konstantem Rang	219
6.5.4	Max/min-Medianfilter zur Bildverbesserung	221
6.5.5	Varianten des Medianoperators	223
6.5.6	Allgemeiner Rangordnungsoperator in einem 3×3 -Fenster . .	226
6.5.7	Rangordnungsoperator mit adaptiver Richtungsabhängigkeit	228
6.5.8	Rangordnungstransformation (lokale Kontraststreckung) . . .	234
6.6	Operatoren zur Filterung linienhafter Muster	236
6.6.1	Linienextraktion	237
6.6.2	Unterdrückung linienhafter Störungen	239
7	Globale Operatoren	242
7.1	Topologische Operatoren	242
7.1.1	Komponentenmarkierung	243
7.1.2	Skelettierung	247
7.2	Geometrische Konstruktionen	254
7.2.1	Konturverfolgung	254
7.2.2	Voronoi-Diagramm	263
7.2.3	Delaunay-Triangulation und Voronoi-Diagramm	275
7.3	Signaltheoretische Operatoren	280
7.3.1	Fourier-Transformation	281
7.3.2	Inverse Fourier-Transformation für Filterungen	284
7.3.3	Spektrum	287
	Literatur	290
	Sachwortverzeichnis	297