

Vorwort

Dieses Buch gibt eine Einführung in die Bildanalyse. Dabei werden neben der eigentlichen digitalen Bildverarbeitung auch die Mustererkennung (Objekterkennung in Bildern) sowie die dreidimensionale Bildinterpretation behandelt. Die beiden letzten Gebiete spielen unter anderem in der autonomen mobilen Robotik eine wichtige Rolle.

Das Material entstand aus einer einsemestrigen Vorlesung an der TU Chemnitz, die ich seit über 10 Jahren halte. Teilnehmer sind Studenten verschiedener Studienrichtungen wie Informatik, Mathematik, Medientechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik.

Es werden folgende Themen behandelt:

- Bildverarbeitung
- Morphologische Operationen
- Bildsegmentierung
- Berechnung von Objektmerkmalen
- Klassifikation (Mustererkennung)
- Dreidimensionale Bildinterpretation
- Bewegungsanalyse aus Bildfolgen

Dieses Buch soll keine Einführung in die Praxis der Bildverarbeitung mit Softwarepaketen (wie z.B. ImageJ) sein. Dazu liegen schon zahlreiche Lehrbücher vor. Es enthält deshalb auch keine konkrete Umsetzung von Algorithmen. Ebenso sind Übungsaufgaben weitgehend theoretischer Natur.

Hauptziel ist die Darstellung der Hintergründe und mathematischer Prinzipien der Bildverarbeitung und der Bildanalyse. Viele mathematische Methoden, die für die Bildverarbeitung eine große Bedeutung haben, werden ausführlich dargestellt. Trotzdem ist es kein rein mathematisches Buch. Es werden auch zahlreiche praktische Hinweise gegeben.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Einbeziehung von Methoden der Künstlichen Intelligenz, wozu die Mustererkennung gehört.

Einige Themen (z.B. Neuronale Netze) würden den Rahmen des Buches sprengen und sind deshalb bewusst weggelassen worden.

Das Buch ist für eine einsemestrige zweistündige Vorlesung im Grund- oder Hauptstudium (ab 3. Semester) gut geeignet und hat sich in der Praxis bewährt. Die Aufgaben eines jeden Kapitels erlauben eine begleitende Übung. Es kann aber auch zum Selbststudium von Wissenschaftlern benutzt werden, die sich erste Kenntnisse im Bereich der Bildanalyse aneignen möchten.

Viele Personen haben mich bei der Erstellung des Buches unterstützt.

Besonderer Dank gilt Prof. Werner Dilger †, der mir die Möglichkeit gab, mich intensiv mit der Vorbereitung und Durchführung einer Vorlesung zur Bildanalyse zu beschäftigen. Von ihm stammen auch viele Hinweise zur inhaltlichen Gestaltung.

Bei meiner Frau Heidrun und meinen Kindern Jan und Florian bedanke ich mich dafür, dass sie jederzeit meine Arbeit unterstützten.

Meinen Kollegen Holger Langner und Marc Ritter danke ich für die Gestaltung des Abschnittes 6.6 und für viele spezielle Hinweise.

Eine Reihe von Kollegen wie Jens Zeidler, Falk Schmidberger, Andreas Ittner, Jörg Wellner, Ulf Nieländer, Niko Sünderhauf und Andrea Sieber standen mir hilfreich bei der Gestaltung der Lehrveranstaltungen zur Seite. Dafür mein herzlicher Dank.

Unserer Sekretärin Karin Gäbel danke ich für die Bereitschaft, mich bei der Erledigung organisatorischer Aufgaben zu entlasten.

Auch allen Zuhörern der Vorlesungen gilt mein Dank für viele Anregungen zur Verbesserung des Skriptes.

Dem Springer-Verlag und der Firma le-tex publishing services oHG danke ich für ihre freundliche Unterstützung.

Chemnitz,
Juni 2008

Johannes Steinmüller

Kapitel 1
Einführung

1

1

1	Einführung	
1.1	Einordnung des Fachgebietes	3
1.2	Was ist Bildanalyse?	4
1.3	Einige Daten zur Entwicklung des Fachgebietes	5
1.4	Grundbegriffe und Vorgehensweise bei der Bildanalyse...	6
1.4.1	Modell nach Marr.....	6
1.4.2	Modell der Bildanalyse.....	8
1.5	Anwendungen.....	11
1.6	Ausgewählte allgemeine Literaturhinweise	12

1 Einführung

In diesem Kapitel ordnen wir das Fachgebiet der Bildanalyse in übergreifende Konzepte ein. Wir beschreiben kurz einige Grundbegriffe und die prinzipielle Vorgehensweise der Bildverarbeitung und der Bildanalyse. Weiter geben wir einige geschichtliche Daten und listen verschiedene Anwendungen auf.

1.1 Einordnung des Fachgebietes

1.1

Bildverarbeitung und insbesondere Bildanalyse (Bildverstehen) beschäftigt sich mit der Analyse und Interpretation von visueller Information, d.h. mit Bildern oder Bildfolgen und ist eines der schwierigsten Teilgebiete der Informatik. Es wird oft der Künstlichen Intelligenz zugeordnet. Neben der Bearbeitung von Bildern geht es bei der Bildanalyse darum, auf den Bildern etwas zu erkennen. Dies können z.B. Objekte sein, die sich vom Bildhintergrund abheben.

Trotz seiner mehr als 50-jährigen Geschichte sind noch viele Fragen offen. Es gibt noch keine maschinellen Sehsysteme, die auch nur annähernd die Leistungsfähigkeit des menschlichen Sehsystems erreichen. Dafür gibt es zahlreiche Gründe:

- Die Konzepte wandelten sich in der Vergangenheit mehrfach grundlegend und sind auch heute noch im Fluss.
- Bildanalyse stellt hohe Ansprüche an das formale Rüstzeug der Wissenschaftler. Es werden komplexe mathematische Modelle benutzt.
- Die Funktionsweise biologischer Sehsysteme ist erst wenig verstanden.
- Oft benötigt man Systeme, die in kurzer Zeit viele Bilder auswerten müssen.

Beispiel 1.1 Ein kleines Kind kann aus 100 Bildern verschiedener Frauen problemlos das mit seiner Mutter herausfinden.

1.1

Ein Computerprogramm, das 10 einfache geometrische Figuren unterscheiden soll, ist schon aufwendig.

Man kann sich dem Problem der Erforschung des Sehens von verschiedenen Seiten nähern:

- **Informatik:**
 - Künstliche Intelligenz
 - Digitale Bildverarbeitung
 - Mustererkennung

- **Neurokognition** (Verhalten und Erleben des Menschen)
- **Neurophysiologie** (Lebensvorgänge und Funktionen des menschlichen Nervensystems)

Es gibt zahlreiche interdisziplinäre Forschungsgruppen. Wir beschränken uns auf Aspekte der Informatik.

Innerhalb der graphischen Datenverarbeitung ordnen wir uns wie folgt ein (Abb. 1.1):

Eingabe Ausgabe	Bild	Beschreibung
Bild	Bildverarbeitung	Computergrafik
Beschreibung	Bildanalyse Bildverstehen	Andere

Abb. 1.1. Einordnung der Bildverarbeitung und der Bildanalyse als Teilgebiete der graphischen Datenverarbeitung

Das vorliegende Buch beschäftigt sich sowohl mit der Bildverarbeitung als auch mit der Bildanalyse.

1.2 Was ist Bildanalyse?

Bildanalyse (Computer Vision) ist ein komplizierter Prozess. Man geht aus von einem Bild oder mehreren Bildern (z.B. Bildfolgen) und einer Fragestellung. Resultat des Prozesses ist eine Beschreibung des Bildes oder der Bildfolge. Was diese Beschreibung enthält, hängt oft vom Bild und von der Fragestellung ab.

1.2 Beispiel 1.2 Einige mögliche Beschreibungen für die Abb. 1.2 sind:

- ein Binärbild
- eine Kreislinie, und 25 Strecken
- 1 Kreis, 4 Rechtecke und 10 einzelene Linien
- Sonne und Haus
- es ist schönes Wetter, die Sonne scheint

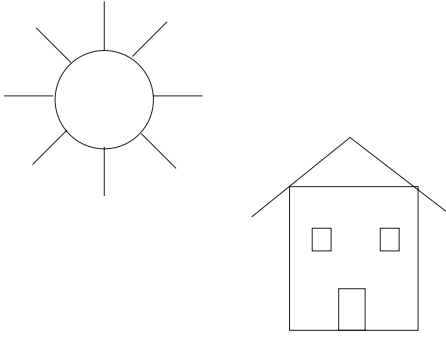


Abb. 1.2. Wie versteht man dieses Bild?

Man sieht, dass jede dieser Beschreibungen in einem gewissen Kontext relevant ist. Die Arbeitsweise eines bildverstehenden Systems wird also von der jeweiligen Fragestellung und der Anwendung abhängen.

Definition 1.1 Bildverstehen ist die Rekonstruktion und Deutung einer Szene (zeitlich-räumlicher Ausschnitt der Realwelt) anhand von Bildern (zweidimensionale Projektionen einer Szene).

1.1

Einige mögliche und schon anspruchsvollere Fragestellungen (Anwendungen) sind:

- kollisionsfreies Navigieren eines Roboters in der Szene
- planmäßiges Greifen und Manipulieren von Objekten in der Szene durch einen Industrieroboter
- Ausgabe von Warnsignalen bei gefährlichen Situationen
- inhaltsbasierte Bildsuche im Internet
- Ausgabe einer sprachlichen Szenenbeschreibung
- Beantworten sprachlicher Anfragen bezüglich der Szene

1.3 Einige Daten zur Entwicklung des Fachgebietes

1.3

Im Folgenden werden nur einige Eckpunkte der Entwicklung der Bildanalyse aufgelistet. Eine vollständigere geschichtliche Abhandlung ist nicht Ziel des Buches.

- **1955:** Aufbereitung von Luftbildern (militärisch interessante Aufgaben im Bereich der Bildverarbeitung)
- **1960:** Zeichenerkennung, Mustererkennung (Klassifikation)
- **1965:** Analyse von Polyederszenen (Blockswelt, ROBERTS[43])

- **1975:** Rekonstruktion dreidimensionaler Informationen aus zweidimensionalen Bildern, Klassifizierung von Knoten und Kanten in Blocksweltszenen (WALTZ[55])
- **1979:** erste internationale Arbeitstagung zum Thema Bildfolgen (Bewegungsanalyse)
- **1979:** Analyse von Straßenverkehrsszenen
- **1982:** Untersuchung biologischer Systeme, Einbeziehung von Forschungsergebnissen aus der Neurophysiologie und Psychophysik für das Bildverstehen, Orientierung an kognitiven Zielen
Entwurf einer hierarchischen Rahmenarchitektur für Sehsysteme, in der verschiedene Zwischenrepräsentationen und Verarbeitungsprozesse vorgesehen sind (MARR[37]).
- **1990:** Modellierung eines Sehsystems als aktiv handelnder Agent (Aktives Sehen)
- **1990:** Anwendung neuronaler Netze
- **1992:** automatische Fahrzeugsteuerung

1.4 1.4 Grundbegriffe und Vorgehensweise bei der Bildanalyse

Wir betrachten 2 Modelle, um wesentliche Begriffe und die prinzipielle Vorgehensweise der Bildanalyse zu demonstrieren.

➤ 1.4.1 Modell nach Marr

Dazu betrachten wir Abb. 1.3 auf Seite 7.

Im Einzelnen bedeuten:

- **Bild:** digitales Rasterbild mit radiometrischen Eigenschaften jedes Bildpunktes, wie:
 - Grauwert
 - Farbe
- **primäre Skizze:** erster Eindruck, die sehr große Datenmenge des Bildes soll sinnvoll reduziert werden, ohne wesentliche Informationen für die nachfolgenden Verarbeitungsschritte zu verlieren, z.B.:
 - Grauwertänderungen, Kanten
 - lokale 2D-Geometrie einfacher Bildelemente
 - Gruppierung einfacher Elemente

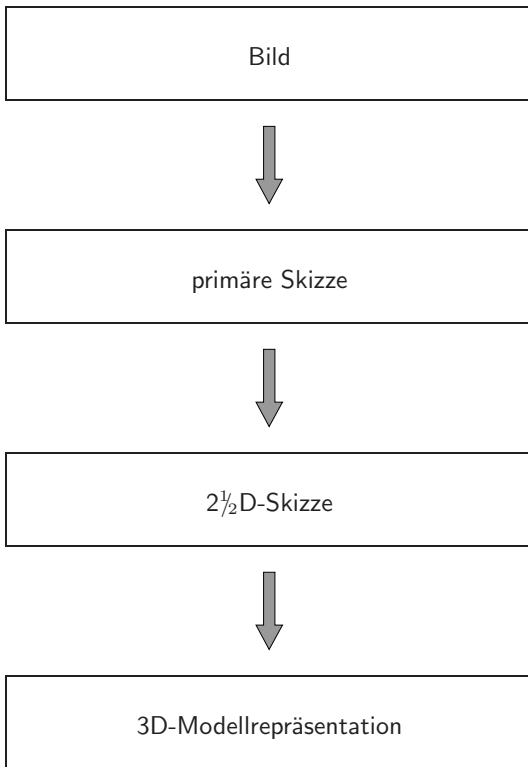


Abb. 1.3. Modell der Bildanalyse nach Marr [37]

- **2 1/2 D-Skizze:** geometrische und photometrische Eigenschaften der sichtbaren Oberflächen:
 - partielle Form- und Geometriekonstruktion
 - Tiefeninformation
 - Orientierung der sichtbaren Oberflächen (Normalvektoren)
 - Konturen von Oberflächendiskontinuitäten (Orientierungssprünge, Entfernungsänderungen)

- **3D-Repräsentation:**
 - Integration mehrerer 2 1/2 D-Skizzen
 - Aussagen über verdeckte Teile
 - Szenenbeschreibung (Objekte und deren Relationen zueinander)

➤ 1.4.2 Modell der Bildanalyse

Wir betrachten ein einfaches Gesamtmodell der Bildanalyse (Abb. 1.4). Es besteht aus 6 Repräsentationsebenen. Drei in der Realität und die anderen drei auf der Computerebene.

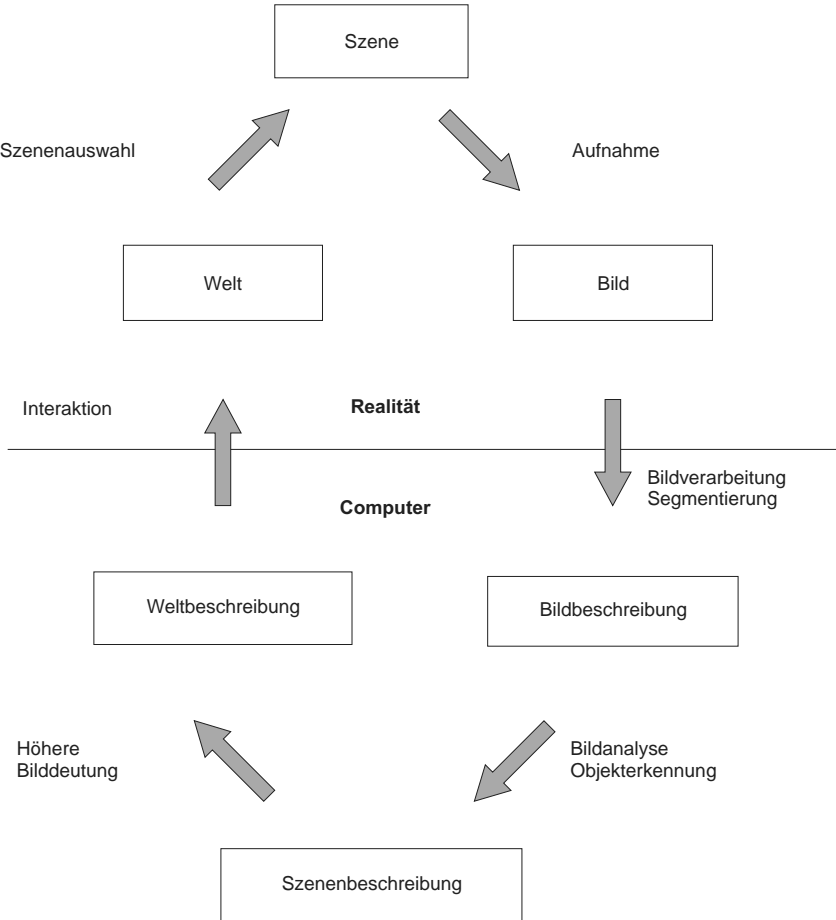


Abb. 1.4. Gesamtmodell zum Bildverstehen nach Pinz [40]

Die 6 Repräsentationsebenen können wir folgendermaßen charakterisieren.

- **Welt:**
 - physikalische Objekte mit Attributen
 - Objektkonfigurationen
 - Bewegung der Objekte

- **Szene:**
 - 3D-Ausschnitt der Welt
 - bestimmter Zeitpunkt
- **Bild:**
 - 2D-Abbild einer Szene
- **Bildbeschreibung:**
 - vom Bild ausgehend (Bottom-up)
 - 2D-Bildelemente (Kanten, Segmente)
 - ohne Vorerwartungen
- **Szenenbeschreibung:**
 - Interpretation der Bildelemente als Szenenelemente,
z.B. Bildkante – Hauskante oder Schattengrenze,
roteres Segment – Hauswand,
grünes Segment – Gras
- **Weltbeschreibung:**
 - von einer Fragestellung ausgehend (Top-down)
 - es wird Vorwissen (Hintergrundwissen) benötigt

Wir beschreiben nun die einzelnen Prozesse etwas genauer.

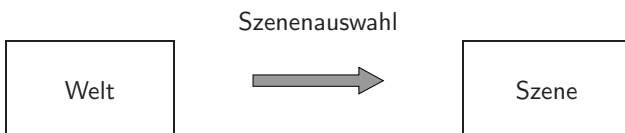


Abb. 1.5. Szenenauswahl

- Was soll betrachtet werden?
- Wann wird betrachtet?

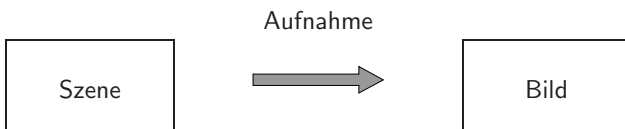


Abb. 1.6. Bildaufnahme

- Wie soll die Szene betrachtet werden?
- Sensorauswahl

Auf einige Probleme der Bildaufnahme werden wir im Kapitel 7 eingehen.

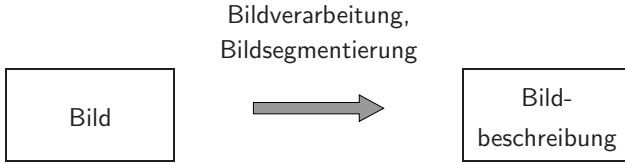


Abb. 1.7. Bildverarbeitung und Bildsegmentierung

- Bildverbesserung
- Bild zu Bild Transformationen
- Finden von Kanten
- Finden von homogenen Bildbereichen (Bildsegmentierung)

Diese Probleme werden in den Kapiteln 2, 3 und 4 behandelt.

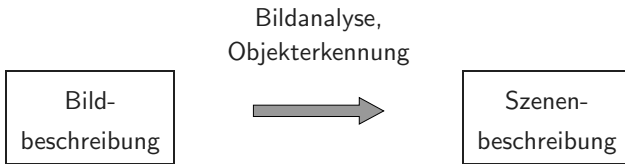


Abb. 1.8. Bildanalyse – Objekterkennung

- Gruppierung einfacher geometrischer Objekte
- Berechnung von Objektmerkmalen
- Klassifikation von Objekten
- Shape from X (die Form wird aufgrund einer bestimmten Methode X errechnet)
- $2\frac{1}{2}$ D-Rekonstruktion der Szene

Darauf gehen wir in den Kapiteln 5, 6 und 7 näher ein.

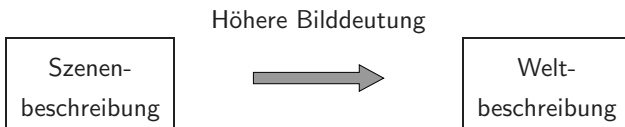


Abb. 1.9. Höhere Bilddedeutung

- Repräsentation und Prozesse oberhalb der Ebene erkannter Objekte
- Objektkonfigurationen
- Situationen
- Bewegungsabläufe
- Episoden

Diese Probleme gehen weit über den Rahmen des Buches hinaus und werden nicht behandelt.

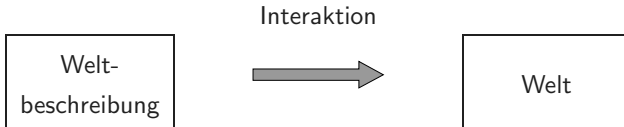


Abb. 1.10. Interaktion mit der Umwelt

- direkte Interaktion mit der Umwelt
- Umwelt verändern
- Richtigkeit des bildverstehenden Systems verifizieren
- aktiver Roboter

Auch dies ist Gegenstand anderer Gebiete (wie der Robotik).

1.5 Anwendungen

1.5

Die Bildverarbeitung hat trotz vieler offener Fragen bereits zahlreiche erfolgreiche spezielle Anwendungen:

- Zeichenerkennung
- Qualitätsprüfung in der industriellen Produktion
- Medizinische Bildanalyse
- Luftbildauswertung
- Fahrzeugsteuerung
- Gesichtserkennung
- Robotik
- Inhaltsbasierte Bildsuche im Internet (Suche nach vermissten Kindern, Suche nach staatsfeindlichen Symbolen)

Auf Details dieser Anwendungen werden wir nicht weiter eingehen.

1.6

1.6 Ausgewählte allgemeine Literaturhinweise

Allgemeine Lehrbücher zur Bildverarbeitung und Bildanalyse sind [1], [4], [9], [12], [14], [16], [25], [27], [31], [40], und [50].

Die Verbindung zur Programmierung mit Java und ImageJ wird in [9] hergestellt.

Bücher zur Künstlichen Intelligenz, die auch Kapitel zur Bildanalyse enthalten sind [15], [44] und [56].

In [38] wird die Computergrafik und die Bildverarbeitung gemeinsam dargestellt.

Eine Sammlung von Operatoren zur Bildverarbeitung enthält [28].

Ein ganzes Buch über morphologische Operationen ist [47].

Theoretische Aspekte zur diskreten Geometrie im Zusammenhang mit der Bildverarbeitung enthält [53], [54] und [30].

Fragen zur Klassifikation und des Maschinellen Lernens werden in [2], [6], und [44] behandelt.

Die dreidimensionale Bildinterpretation wird in [12], [18], [26], [29] und [36] behandelt.

Bewegungsanalyse aus Bildfolgen findet man in [29].

Aspekte der parallelen Bildverarbeitung beschreibt [7] und [8].

Objektorientierte Methoden in der Bildverarbeitung nutzt [57].

Fuzzy und Bildverarbeitung behandelt [49].

Verschiedene Anwendungen findet man in [11], [24], [33] und [48].