

Digitale Bildverarbeitung

Einheit 10

Merkmalsextraktion

Lehrauftrag SS 2006

Fachbereich M+I der FH-Offenburg



Dr. Bernard Haasdonk

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ziele der Einheit

- Einsehen, dass das Problem des „Vergleichs“ von Bildteilen eine nichttriviale Aufgabe ist
- Verstehen, wie Bildteile/Objekte durch Zahlen, sogenannten **Merkmalen** beschrieben werden können
- **Wünschenswerte Eigenschaften** dieser Attribute kennenlernen
- Den Begriff der **Invarianz** kennenlernen
- Einige **konkrete Beispiele** für Merkmale und deren Berechnung nachvollziehen
- Einige **einfache Anwendungen** vorführen: inhaltsbasierte Bildsuche, Echtzeit-Bildsysteme

Motivation der Merkmalsextraktion

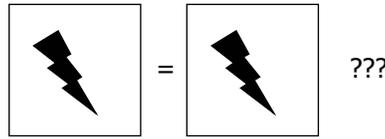
- Bisherige Methoden ermöglichen das Erzeugen von Segmenten, d.h. Bildteilen, die einzelne oder mehrere Objekte enthalten können.



- Wir können aber wenig aussagen über verschiedene Segmente
- Eine wichtige Operation zwischen Segmenten ist das Vergleichen:

Szenario 1:

Wie können wir hier einen Vergleich durchführen?



- Einfache Möglichkeit:

- Differenzbild, unterschiedliche Pixel zählen
- bei vielen unterschiedlichen Pixeln => unterschiedliche Segmente
- bei wenig unterschiedlichen Pixeln => ähnliche/gleiche Segmente

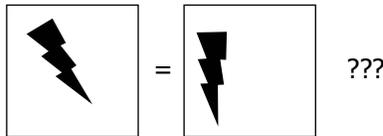
8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

3

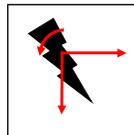
Motivation der Merkmalsextraktion

- Szenario 2:



- Mögliches Vorgehen: **Template Matching**

- Das erste Segment wird in alle Positionen und Drehungen versetzt und mit dem zweiten verglichen, bis es „passt“.



alle Drehungen müssen mit allen
x-Verschiebungen und allen
y-Verschiebungen kombiniert
werden!

Sehr rechenintensiv
also ungeschickt!

- Vergleichen ist also schwierig wegen

- den vielen Pixeln, d.h. hoher Dimensionalität
- den verschiedenen möglichen kombinierten Positionen und Drehungen
- subjektiver oder problemabhängiger Begriff der „Ähnlichkeit“: manchmal ist die Farbe wichtig, manchmal unwichtig, etc.

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

4

Motivation der Merkmalsextraktion

- Menschliches Vorgehen beim Vergleichen/Unterscheiden

Quadrate:	4	5	4	4	4	4
Ecken:	6	6	8	4	8	4
Umfang:	10	10	10	8	10	10
Farbe:	grün	grün	grün	grün	rot	grün

- ➡ Es werden Charakterisierungen durch „Attribute“ oder Zahlen vorgenommen
- ➡ Vergleich der Attribute oder Zahlen ist einfach:
Sind diese ungleich so sind die Objekte unterschiedlich
- ➡ Dies ist offensichtlich sehr viel schneller als Template Matching!

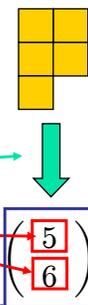
8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

5

Motivation der Merkmalsextraktion

- Gegeben: **Segment** eines Bildes
- Ziel: **Charakterisierung** des Segments durch maschinell zu ermittelnde Zahlen, die objektive Vergleiche ermöglichen
- Das Berechnen der Zahlen nennt man **Merkmalsextraktion**
- Diese Zahlen nennt man **Merkmale** (Hier: Anzahl Quadrate und Ecken)
- Werden mehrere Zahlen aus einem Segment extrahiert, nennt man das Ergebnis einen **Merkmalsvektor**
- Der Merkmalsvektor soll **möglichst kurz** sein, damit der Vergleich möglichst schnell ist
- Insgesamt wird damit eine sehr **kompakte Segment-Repräsentation** erzeugt (Art extremer Datenkompression)



8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

6

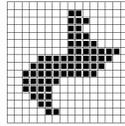
Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

- Viele Merkmale für Segmente sind schön **anschaulich** und einfach zu berechnen

- Die Fläche

- Zählen aller Pixel

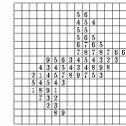
$$F = 63$$



- Die Masse

- Addieren aller Grauwerte

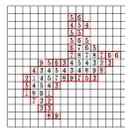
$$M = 315$$



- Der Umfang

- Alle Pixel zählen, die zu einem Hintergrundpixel benachbart sind

$$U = 37$$

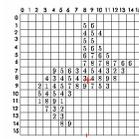


- Der Schwerpunkt

- Mittelung über „Position mal Gewicht“

$$x_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N m_{ik}} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N x_i m_{ik}$$

$$y_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N m_{ik}} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N y_i m_{ik}$$



8.4.2006

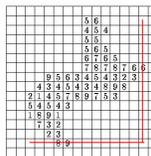
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

7

Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

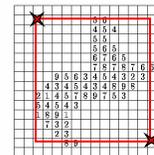
- Breite und Höhe (FeretXY)

- Grenzen der integrierten Linienprofile bestimmen



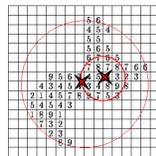
- Bounding Box

- Ergibt 4 Werte (2 Eckpunkte)



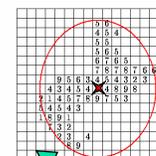
- Minimaler Umkreis Maximaler Inkreis

- Ergibt 6 Werte: (2 Radien und zwei Mittelpunkte)



- Weitere (nicht so einfach)

- Anzahl der Löcher eines Objektes
 - Anzahl Ecken
 - Rotations-Symmetriegrad
 - Ellipsenanpassung



8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

8

Anforderungen an Merkmale

- Möglichst **ähnliche Werte** für ähnliche Objekte
- Unterschiedliche Werte für unterschiedliche Objekte
 - Man spricht hier auch von **Separationsfähigkeit**
- Einfache **Berechenbarkeit**
- **Robustheit** bezüglich Störungen
 - bzgl. Rauschen bzw. unwesentlichen Änderungen sollten sich die Merkmale nicht sehr verändern
- Möglichst **kompakter Merkmalsvektor**
 - möglichst wenig Zahlen, keine Abhängigkeiten, keine Redundanz
- Und viele mehr (Invarianz, Stetigkeit, Clustering, ...)

Invarianz

- In vielen Problemen sind bestimmte Bewegungen der Objekte erlaubt, ohne dass deren Bedeutung sich ändert.
- Es ist also wünschenswert, dass auch die Merkmale sich nicht ändern bei diesen Bewegungen. Diese heißen dann **invariante Merkmale** oder Invarianten
- Merkmale sind
 - **translationsinvariant**,
wenn sie unverändert bleiben bei **Verschieben** des Objektes
 - **rotationsinvariant**,
wenn sie unverändert bleiben bei **Drehung** des Objektes
 - **skalierungsinvariant**,
wenn sie unverändert bleiben, wenn das **Bild gezoomt** wird oder die Kamera näher oder weiter weg fährt
 - **spiegelungsinvariant**,
wenn sie unverändert bleiben bei **Spiegelung** des Objektes

Konturmerkmale

- Es wird nur der **Rand** des Segmentes verwendet, um Merkmale zu berechnen
- Das **Innere** wird **vernachlässigt**



- Es geht hier natürlich viel Information verloren
- Macht nur Sinn, wenn
 - Segmente sehr genau einzelnen Objekten entsprechen: Es darf nicht zu viel Hintergrund im Segment vorhanden sein und es sollten nicht mehrere Objekte verschmolzen sein
 - Objekte sich auch durch äußere Form unterscheiden lassen, ist z.B. sinnlos bei „Sportball-Arten“ oder „Obst“

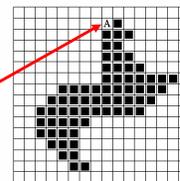
8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

11

Randcodierung

- Ziel: Der Rand des Segmentes wird in eine **Zahlenfolge übersetzt**
- Vorgehen:
 - Wahl eines Startpunktes und einer **Umlaufrichtung**, z.B. im Uhrzeigersinn
 - Kodierung der Rand-Richtung durch eine von 8 Zahlen, z.B. dem **Freeman-Code**:
 - die Richtung von x aus bekommt die angegebene Zahl, z.B. rechts = 0, runter = 6, hoch = 2
 - Entlanglaufen an dem Rand und Sammeln der Richtungs-Kennzeichner
- Die **Randcodierung** ist eine periodische Zahlenkette
- Sie ist **translationsinvariant**, **nicht rotationsinvariant**, **nicht größeninvariant**.
- **Nachteil**: ist abhängig vom Startpunkt!



3	2	1
4	X	0
5	6	7

Randcodierung =
0757770055544445566
74333221100012222

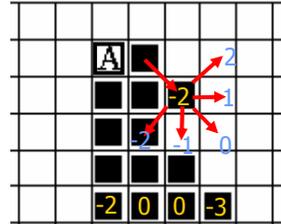
8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

12

Weitere Konturmerkmale

- Die **relative Randcodierung**
 - Es werden nicht die Richtungen, sondern die **Richtungsänderungen** kodiert in Vielfaches von 45°
 - geradeaus = 0
links = positive Werte
rechts = negative Werte,
 - Dieser Code ist **translations- und rotationsinvariant**
- Sehr zu empfehlen: **Fourierdeskriptoren** [56]
 - Der Rand kann als komplexe Funktion ausgefasst werden
 - Diese kann in eine **Fourierreihe** entwickelt werden
 - Aus den nicht-invarianten **Fourier-Koeffizienten** können durch Kombination sogenannte **Fourierdeskriptoren** berechnet werden.
 - Diese sind **translations-, rotations- und skalierungsinvariant**



Rel. Randcode =
-2-1-220-300-2000

8.4.2006

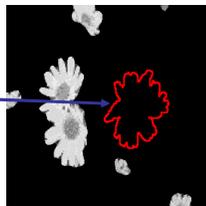
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

13

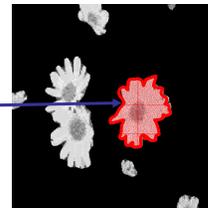
Regionsmerkmale

- Es werden Merkmale extrahiert, die auf Information des **gesamten Segmentes** basieren, nicht nur des Randes

Konturmerkmale
verwenden nur
Randinformation



Regionsmerkmale
verwenden das
gesamte Segment



- Einige bekannte Beispiele sind: **Grauwert- oder Farb-Histogramme** und abgeleitete Größen wie **Mittelwert, Varianz, minimaler, maximaler Grauwert**, etc.
- Wenn man genügend viele Merkmale nimmt, kann man das Segment vollständig ohne Informationsverlust beschreiben.

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

14

Kombinierte Zentrale Momente

- Für ausgeklügeltere Merkmale geht deren **Anschauung** immer weiter **verloren**, sie sind aber für den Rechner aussagekräftig
- Ausgangspunkt sind die **zentralen Momente** (Einheit 05)

$$\mu_{ik} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (x - x_s)^i (y - y_s)^k \cdot g(x, y)$$

- Diese werden nun kombiniert und ergeben die **7 Merkmale von Hu**
- Sie sind **translation-, rotations-, skalierungs-** und sogar (außer k7) **spiegelinvariant**

$\kappa_1 = \mu_{20} + \mu_{02}$ $\kappa_2 = \frac{1}{\kappa_1^2} \left[(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \right]$ $\kappa_3 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[(\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ $\kappa_4 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ $\kappa_5 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[(\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) - (3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2) + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot [3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \right]$ $\kappa_6 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[(\mu_{30} - \mu_{02}) \cdot [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \right]$ $\kappa_7 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[(3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12}) - [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] + (3\mu_{12} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot [3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \right]$	 	$\kappa_1 = 2.59069 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.02263$ $\kappa_3 = 0.30967$ $\kappa_4 = 0.01108$ $\kappa_5 = -0.00063$ $\kappa_6 = 0.00163$ $\kappa_7 = -0.00016$	 	$\kappa_1 = 2.37675 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.04408$ $\kappa_3 = 0.00331$ $\kappa_4 = 0.00804$ $\kappa_5 = -0.00004$ $\kappa_6 = 0.00167$ $\kappa_7 = -0.00001$
---	--	---	--	---

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

15

Kombinierte Zentrale Momente

- Invarianz bezüglich Bewegungen:
 - Die Werte sind **identisch** (bis auf Rechen-Ungenauigkeiten und Spiegelung)

	$\kappa_1 = 2.41174 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.00396$ $\kappa_3 = 0.01511$ $\kappa_4 = 0.01025$ $\kappa_5 = -0.00008$ $\kappa_6 = -0.00019$ $\kappa_7 = -0.00010$	<p>Verschiebung</p> 	$\kappa_1 = 2.40871 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.00386$ $\kappa_3 = 0.01484$ $\kappa_4 = 0.01014$ $\kappa_5 = -0.00008$ $\kappa_6 = -0.00020$ $\kappa_7 = -0.00009$
<p>Rotation</p> 	$\kappa_1 = 2.41164 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.00394$ $\kappa_3 = 0.01511$ $\kappa_4 = 0.01025$ $\kappa_5 = -0.00008$ $\kappa_6 = -0.00019$ $\kappa_7 = -0.00010$	<p>Spiegelung</p> 	$\kappa_1 = 2.41174 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.00396$ $\kappa_3 = 0.01511$ $\kappa_4 = 0.01025$ $\kappa_5 = -0.00008$ $\kappa_6 = -0.00019$ $\kappa_7 = 0.00010$

- Webseite mit interaktiver Berechnung:
 - <https://elearning.fh-offenburg.de/moodle/mod/resource/view.php?id=895>

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

16

Anwendungen von Bildmerkmalen

- **Inhaltsbasierte Bildsuche**
 - Bilder werden aufgrund **inhaltlicher Aspekte** verglichen
 - Gegensatz zu „kontextbasierte“ Bildsuche, z.B. Google sucht nur nach „Wörtern“ in der Umgebung der Bilder.
 - Typisch: „**Query by Example**“: zu einem Anfragebild des Benutzers werden die besten Treffer in einer Datenbank zurückgegeben



- Bei einer Datenbank von 1000-100000 Bildern und einem Benutzer, der sofort eine Antwort haben will, ist **Geschwindigkeit wichtig**: für Merkmalsvektoren ideal, direkter Bildvergleich unmöglich.
- Schneller Vergleich ist möglich, weil für die Datenbank die **Merkmalsvektoren vorberechnet** werden können.

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

17

Anwendungen von Bildmerkmalen

- **SIMBA**
 - **Search IMages By Appearance**
 - selbst ausprobieren unter <http://simba.informatik.uni-freiburg.de/>
- Briefmarkensuche **MICHELscope**: [55]
 - entwickelt an der Uni Freiburg, kommerziell erhältlich
 - verschiedene Merkmale:

Das Bild zeigt zwei Beispiele für Bildsuche. Oben ist ein Suchergebnis für SIMBA dargestellt, bei dem ein Referenzbild (ein Fluss) oben rechts zu sehen ist, und darunter eine Reihe von Bildern, die dem Referenzbild ähneln. Darunter ist die MICHELscope-Schnittstelle für die Briefmarkensuche dargestellt. Sie zeigt eine Gitteransicht von Briefmarken und eine Filterbox mit den Optionen 'Color', 'Motive', 'Size' und 'Aspect Ratio'. Ein roter Rahmen umschließt die Filterbox, und ein roter Pfeil weist auf sie hin.

8.4.2006

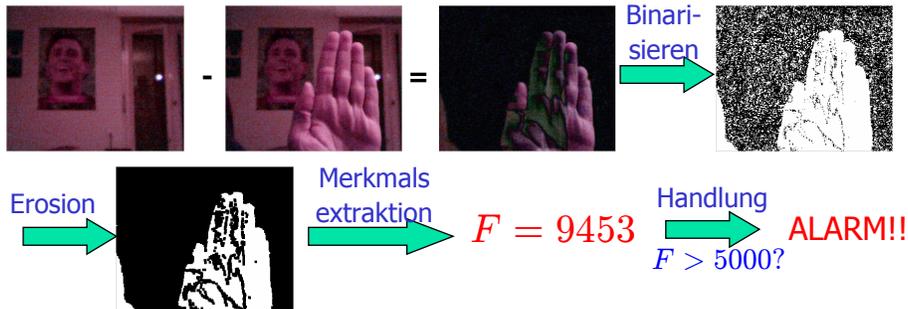
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

18

Anwendungen von Bildmerkmalen

- Überwachungssystem

- Differenz zu einem Referenzbild liefert Handlungs-Kriterium über Anzahl der „Pixel-Eindringlinge“: Merkmal der Fläche!



- Selbst ausprobieren: MATLAB mit Bibliothek VCAPG2
 - Allgemein ist Verwendung von Bildmerkmalen in allen Problemen sinnvoll, die auf vielen und schnellen Vergleichen von Bildsegmenten angewiesen sind
 - Nächste Woche: Klassifikation/Objektdetektion

8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

19

Weiterführende Literatur

- [53] R.O. Duda, P.E. hart und D.G. Stork: „[Pattern Classification](#)“. Wiley Interscience, 2nd edition, 2001.
- [54] S. Theodoridis und K. Koutroumbas: „[Pattern Recognition](#)“, Academic Press Inc.(London) Ltd, 2nd edition, 2003.
- [55] S. Siggelkow. „Feature Histograms for Content-based Image Retrieval“. Dissertation, Universität Freiburg, 2003. Online unter <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/631>
- [56] H. Burkhardt und B. Haasdonk: „Mustererkennung WS 02/03, ein multimedialer Grundlagenkurs im Hauptstudium Informatik“. Institut für Informatik, Universität Freiburg, 2003. (CDs werden verkauft), Online unter <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/lectures/mustererkennung/WS0304/material.html>
- [57] K. D. Tönnies, „[Digitale Bildverarbeitung](#)“, Pearson Studium, 2005



8.4.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg SS 2006, Einheit 10

20

Zusammenfassung

- Alle Objekte, die vom Rechner verarbeitet werden sollen, müssen ihre **Eigenschaften in Zahlen** ausdrücken.
- Diese Zahlen heißen **Merkmale**, die Berechnung heißt **Merkmalsextraktion**, mehrere Merkmale eines Objektes werden zu einem **Merkmalsvektor** zusammengefasst
- Merkmalsextraktion zielt auf eine **kompakte, charakterisierende und unterscheidungsfähige Repräsentation** von Objekten/Bildern durch Zahlen
- Die **Invarianz** von Merkmalen ist oft wünschenswert, wenn bestimmte Objektbewegungen möglich sind, die die Bedeutung der Objekte unverändert lassen.
- Wichtige konkrete Merkmale für Objekte sind **Konturbasierte** und **Regionsbasierte**, z.B. Fläche, Umfang, Bounding Box, Randcodierung, Fourierdeskriptoren, Histogramme, zentrale Momente und hieraus konstruierte Invarianten.
- Die wichtige Operation des **Vergleichs von Bildern** ist effizient möglich: statt teurem Template Matching ist ein schneller Vergleich von Merkmalsvektoren möglich.