

# Digitale Bildverarbeitung

## Einheit 10

### Merkmalsextraktion

---

Lehrauftrag WS 06/07

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

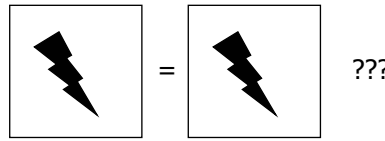
- Bisherige Methoden ermöglichen das **Erzeugen von Segmenten**, d.h. Bildteilen, die einzelne oder mehrere Objekte enthalten können.



- 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

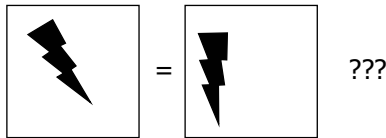
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

3

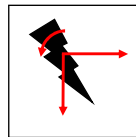
## Motivation der Merkmalsextraktion

### 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.

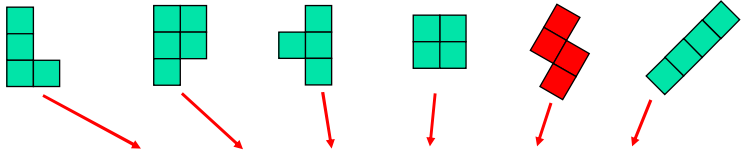
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, 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!

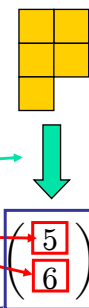
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, 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)



9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

6

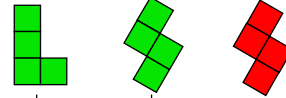
## Merkmalsraum

- Objektvergleich im Merkmalsraum
  - Nach der **Merkmalsextraktion** ist ein Objekt nur noch ein Punkt in einem abstrakten Raum, dem **Merkmalsraum**
  - Seine **Koordinaten** sind genau die Einträge seines Merkmalvektors
  - Man kann verschiedene Objekte **gleichzeitig** in diesem Raum repräsentieren
  - Man kann verschiedene Objekte **vergleichen**, indem man den **Abstand** zwischen ihren Punkten im Merkmalsraum berechnet (Satz des Pythagoras) und den Abstand als Maß für den Unterschied nimmt.

Beispiel: Abstand 1. & 3. Objekt

$$\sqrt{2^2 + 1^2} = 2.236$$

Objekte



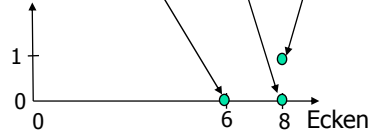
Merkmalsvektoren

(Ecken und Rot-Mittelwert)

$$\begin{pmatrix} 6 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 8 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 8 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Merkmalsraum

Rot-Mittelwert

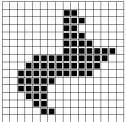
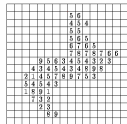
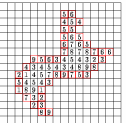


9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

7

## Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

- Viele Merkmale für Segmente sind schön **anschaulich** und einfach zu berechnen
- Die **Fläche**
  - Zählen aller Pixel
$$\mathcal{F} = 63$$

- Die **Masse**
  - Addieren aller Grauwerte
$$\mathcal{M} = 315$$

- Der **Umfang**
  - Alle Pixel zählen, die zu einem Hintergrundpixel benachbart sind
$$\mathcal{U} = 37$$

- Der **Schwerpunkt**
  - Mittelung über "Position mal Gewicht"
$$x_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N m_{ik}} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N x_i m_{ik}$$

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


9.11.2006

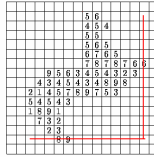
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

8

## Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

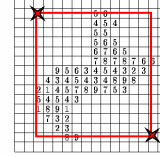
### ■ Breite und Höhe (FeretXY)

- Grenzen der integrierten Linienprofile bestimmen



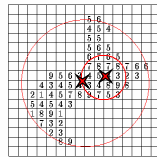
### ■ Bounding Box

- Ergibt 4 Werte (2 Eckpunkte)



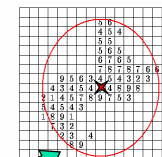
### ■ Minimaler Umkreis Maximaler Inkreis

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



### ■ Weitere (nicht so einfach)

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



9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

9

## 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, ...)

9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

10

## 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

9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

11

## 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-Typen“ oder „Obst“

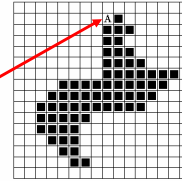
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

12

## 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  
743332211000122222

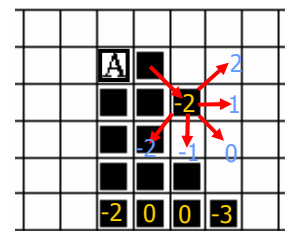
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

13

## 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 aufgefasst 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

9.11.2006

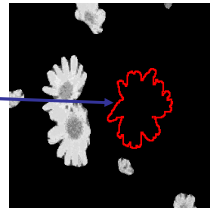
B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

14

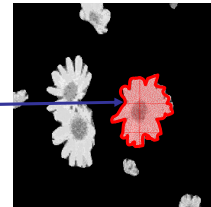
## Regionsmerkmale

- 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.

9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

15

## 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**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\kappa_1 = \mu_{20} + \mu_{02}$ $\kappa_2 = \frac{1}{\kappa_1^2} \left[ (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \right]$ $\kappa_3 = \frac{1}{\kappa_1^3} \left[ (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ $\kappa_4 = \frac{1}{\kappa_1^4} \left[ (\mu_{40} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ $\kappa_5 = \frac{1}{\kappa_1^5} \left[ (\mu_{50} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) - (\mu_{40} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{40} + \mu_{12}) - 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ $\kappa_6 = \frac{1}{\kappa_1^6} \left[ (\mu_{60} - \mu_{02}) \cdot (\mu_{40} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 + 4\mu_{11}(\mu_{40} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \right]$ $\kappa_7 = \frac{1}{\kappa_1^7} \left[ (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{40} + \mu_{12}) - (\mu_{40} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 + (3\mu_{12} - \mu_{30})(\mu_{21} + \mu_{03}) - 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right]$ | <br> | $\kappa_1 = 2.59069 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.02263$ $\kappa_3 = 0.30967$ $\kappa_4 = 0.01108$ $\kappa_5 = -0.00063$ $\kappa_6 = 0.00163$ $\kappa_7 = -0.00016$ | <br> | $\kappa_1 = 2.37675 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.04408$ $\kappa_3 = 0.00331$ $\kappa_4 = 0.00861$ $\kappa_5 = -0.00004$ $\kappa_6 = 0.00167$ $\kappa_7 = -0.00001$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                            | $\kappa_1 = 3.62246 \cdot 10^6$ $\kappa_2 = 0.03207$ $\kappa_3 = 0.0$ $\kappa_4 = 0.0$ $\kappa_5 = 0.0$ $\kappa_6 = 0.0$ $\kappa_7 = 0.0$                       |                                                                                                                                                                                | $\kappa_1 = 157742.3$ $\kappa_2 = 0.0$ $\kappa_3 = 0.0$ $\kappa_4 = 0.0$ $\kappa_5 = 0.0$ $\kappa_6 = 0.0$ $\kappa_7 = 0.0$                                     |

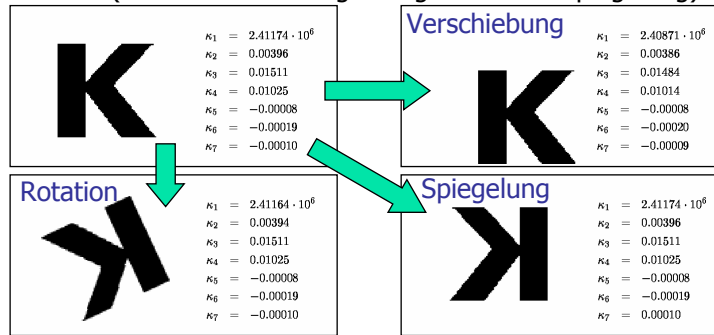
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

16

## Kombinierte Zentrale Momente

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



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

9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

17

## 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.

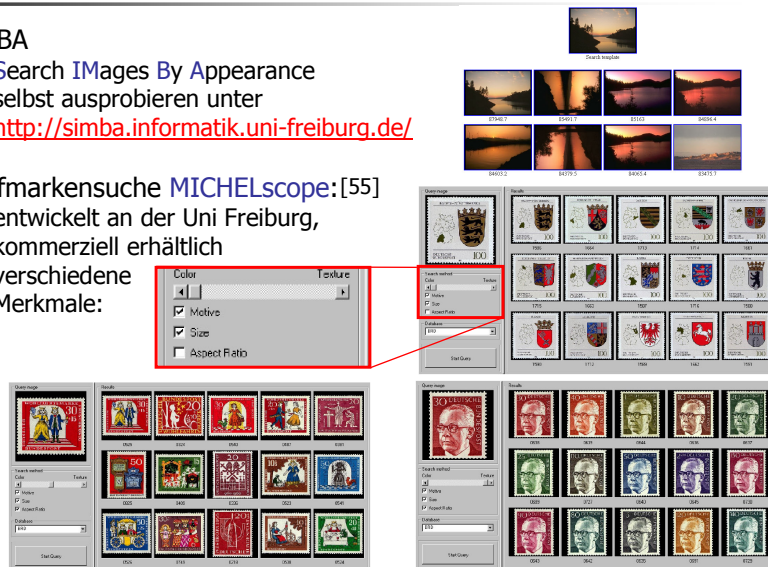
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

18

## 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:



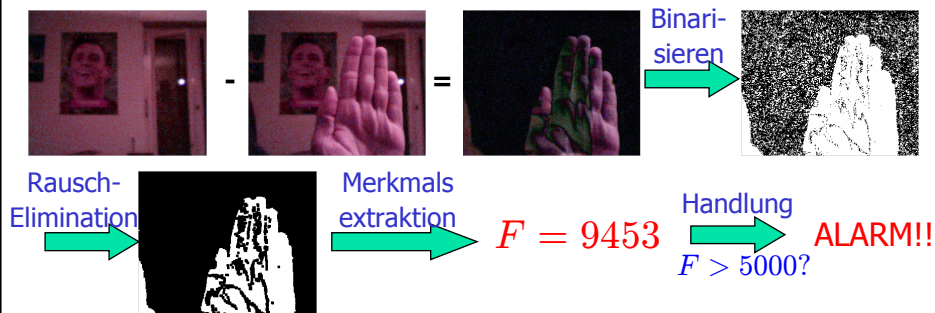
9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

19

## 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
- Insbesondere in nächster Einheit: Klassifikation/Objektdetektion

9.11.2006

B. Haasdonk, Digitale Bildverarbeitung, FH Offenburg WS 06/07, Einheit 10

20

## Zusammenfassung

- Alle Objekte, die vom Rechner verarbeitet werden sollen, müssen ihre **Eigenschaften in Zahlen**, sogenannten **Merkmalen ausdrücken**.
- 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.
- Der **Merkmalsraum** erlaubt eine gemeinsame Darstellung verschiedener Objekte, indem **jedes Objekt** durch **einen Punkt** gegeben ist, dessen Koordinaten die Merkmale sind.

## 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

