Digitale Bildverarbeitung
Einheit 10
Merkmalsextraktion

Lehrauftrag WS 05/06
Fachbereich M+I der FH-Offenburg

Dipl.-Math. Bernard Haasdonk
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

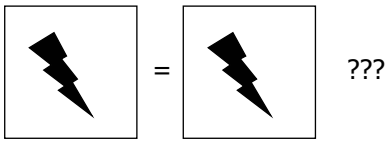
Ziele der Einheit

- 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.

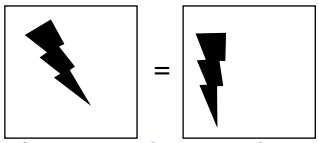
- Wir können aber wenig aussagen über verschiedene Segmente
- Eine wichtige Operation zwischen Segmenten ist das Vergleichen:
- Szenario 1:
  Wie können wir hier einen Vergleich durchführen?



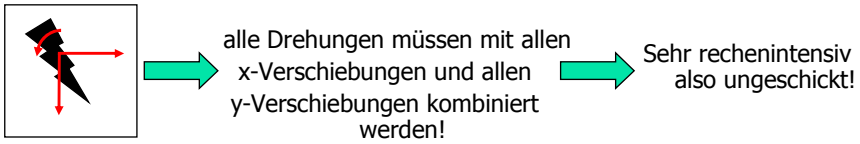
- Einfache Möglichkeit:
  - Differenzbild, unterschiedliche Pixel zählen
  - bei vielen unterschiedlichen Pixeln => unterschiedliche Segmente
  - bei wenig unterschiedlichen Pixeln => ähnliche/gleiche Segmente

Motivation der Merkmalsextraktion

- Szenario 2:



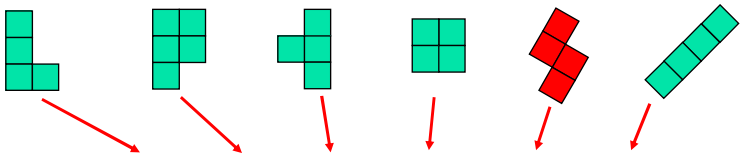
- Mögliches Vorgehen: Template Matching
  - Das erste Segment wird in alle Positionen und Drehungen versetzt und mit dem zweiten verglichen, bis es „passt".



- 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.

Motivation der Merkmalsextraktion

- Menschliches Vorgehen beim Vergleichen/Unterscheiden



Quadrate:	4	5	4	4	4	4
Ecken:	6	6	8	4	8	4
Umfang:	10	9	10	8	10	10
Farbe:	grün	grün	grün	grün	rot	grün

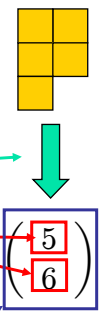
⇒ Es werden Charakterisierungen durch „Attribute" oder Zahlen vorgenommen

⇒ Vergleich der Attribute oder Zahlen ist einfach:
Sind diese ungleich so sind die Objekte unterschiedlich

⇒ Dies ist offensichtlich sehr viel schneller als Template Matching!

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)

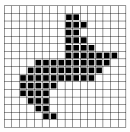


Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

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

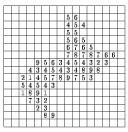
- Die Fläche
  - Zählen aller Pixel

$F = 63$



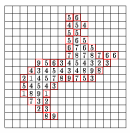
- Die Masse
  - Addieren aller Grauwerte

$M = 315$



- Der Umfang
  - Alle Pixel zählen, die zu einem Hintergrund-pixel benach-bart sind

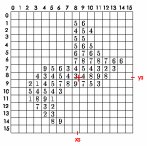
$U = 37$



- Der Schwerpunkt
  - Mittelung über „Position mal Gewicht"

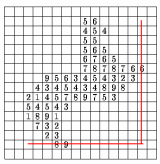
$$x_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{M}\sum_{k=1}^{N} m_{ik}} \sum_{i=1}^{M}\sum_{k=1}^{N} x_i m_{ik}$$

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

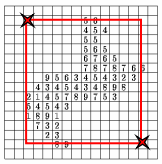


Einfache Geometrische und Topologische Merkmale

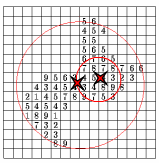
- Breite und Höhe (FeretXY)
  - Grenzen der integrierten Linienprofile bestimmen



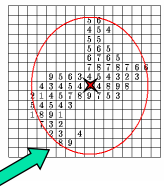
- Bounding Box
  - Ergibt 4 Werte (2 Eckpunkte)



- 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



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, …)

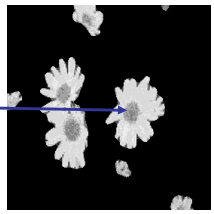
Invarianz

- 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

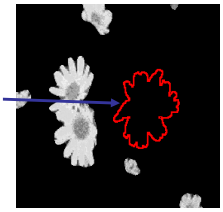
Konturmerkmale

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

Original-Segment

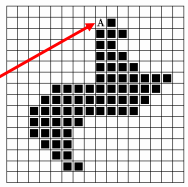


Konturmerkmale verwenden nur Randinformation



- 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"

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

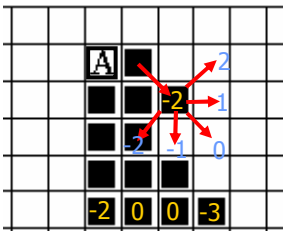
  - Entlanglaufen an dem Rand und Sammeln der Richtungs-Kennzeichner

Randcodierung =
07577700555444455666
74333221100012222 2

- Die Randcodierung ist eine periodische Zahlenkette
- Sie ist translationsinvariant, nicht rotationsinvariant, nicht größeninvariant.
- Nachteil: ist abhängig vom Startpunkt!

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



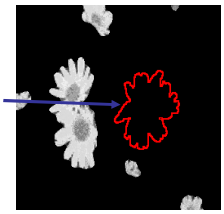
Rel. Randcode =
-2-1-220-300-2000

- 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

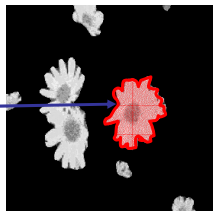
Regionsmerkmale

- 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.

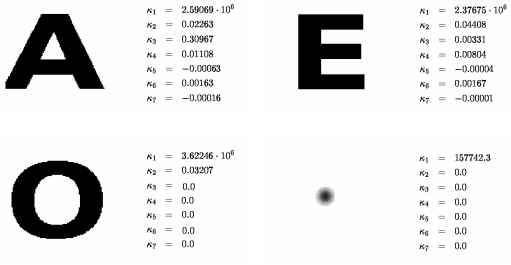
Kombinierte Zentrale Momente

- 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

$$\kappa_1 = \mu_{20} + \mu_{02}$$
$$\kappa_2 = \frac{1}{\kappa_1^2}\left[(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2\right]$$
$$\kappa_3 = \frac{1}{\kappa_1^{5/2}}\left[(\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} + \mu_{03})^2\right]$$
$$\kappa_4 = \frac{1}{\kappa_1^{5/2}}\left[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2\right]$$
$$\kappa_5 = \frac{1}{\kappa_1^8}\left[(\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) \cdot \left[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2\right] + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot \left[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2\right]\right]$$
$$\kappa_6 = \frac{1}{\kappa_1^{7/2}}\left[(\mu_{20} - \mu_{02}) \cdot \left[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2\right] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03})\right]$$
$$\kappa_7 = \frac{1}{\kappa_1^8}\left[(3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12}) \cdot \left[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2\right] + (3\mu_{12} - \mu_{30})(\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot \left[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2\right]\right]$$



$\kappa_1 = 2.59069 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.02263$, $\kappa_3 = 0.30967$, $\kappa_4 = 0.01108$, $\kappa_5 = -0.00063$, $\kappa_6 = 0.00163$, $\kappa_7 = -0.00016$

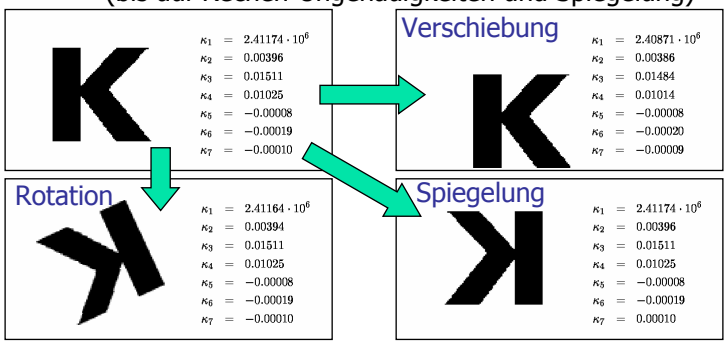
$\kappa_1 = 2.37675 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.04408$, $\kappa_3 = 0.00331$, $\kappa_4 = 0.00804$, $\kappa_5 = -0.00004$, $\kappa_6 = 0.00167$, $\kappa_7 = -0.00001$

$\kappa_1 = 3.62246 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.03207$, $\kappa_3 = 0.0$, $\kappa_4 = 0.0$, $\kappa_5 = 0.0$, $\kappa_6 = 0.0$, $\kappa_7 = 0.0$

$\kappa_1 = 157742.3$, $\kappa_2 = 0.0$, $\kappa_3 = 0.0$, $\kappa_4 = 0.0$, $\kappa_5 = 0.0$, $\kappa_6 = 0.0$, $\kappa_7 = 0.0$

Kombinierte Zentrale Momente

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



$\kappa_1 = 2.41174 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.00396$, $\kappa_3 = 0.01511$, $\kappa_4 = 0.01025$, $\kappa_5 = -0.00008$, $\kappa_6 = -0.00019$, $\kappa_7 = -0.00010$

$\kappa_1 = 2.40871 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.00386$, $\kappa_3 = 0.01484$, $\kappa_4 = 0.01014$, $\kappa_5 = -0.00008$, $\kappa_6 = -0.00020$, $\kappa_7 = -0.00009$

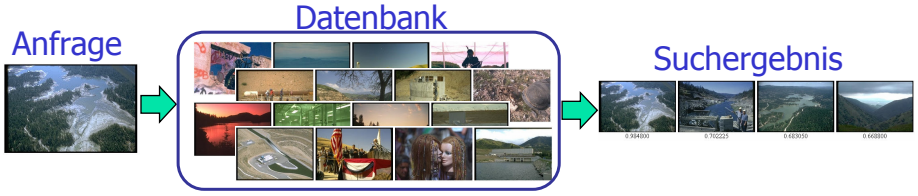
$\kappa_1 = 2.41164 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.00394$, $\kappa_3 = 0.01511$, $\kappa_4 = 0.01025$, $\kappa_5 = -0.00008$, $\kappa_6 = -0.00019$, $\kappa_7 = -0.00010$

$\kappa_1 = 2.41174 \cdot 10^6$, $\kappa_2 = 0.00396$, $\kappa_3 = 0.01511$, $\kappa_4 = 0.01025$, $\kappa_5 = -0.00008$, $\kappa_6 = -0.00019$, $\kappa_7 = 0.00010$

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

Anwendungen von Bildmerkmalen

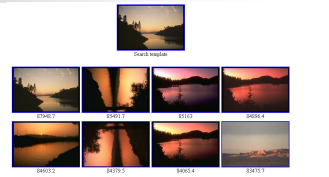
- Inhaltsbasierte Bildsuche
  - Bilder werden aufgrund inhaltlicher Aspekte verglichen
  - Gegensatz zu „kontextbasierte" Bildsuche, z.B. Google sucht nur nach „Wörtern" in der Umgebung der Bilder.
  - Typisch: „Query by Example": zu einem Anfragebild des Benutzers werden die besten Treffer in einer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



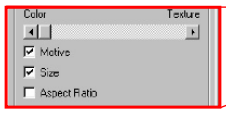
  - Bei einer Datenbank von 1000-100000 Bildern und einem Benutzer, der sofort eine Antwort haben will, ist Geschwindigkeit wichtig: für Merkmalsvektoren ideal, direkter Bildvergleich unmöglich.
  - Schneller Vergleich ist möglich, weil für die Datenbank die Merkmalsvektoren vorberechnet werden können.

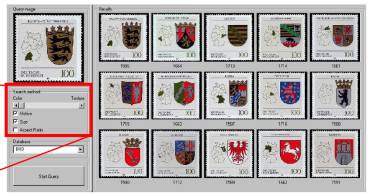
Anwendungen von Bildmerkmalen

- SIMBA
  - Search IMages By Appearance
  - selbst ausprobieren unter http://simba.informatik.uni-freiburg.de/



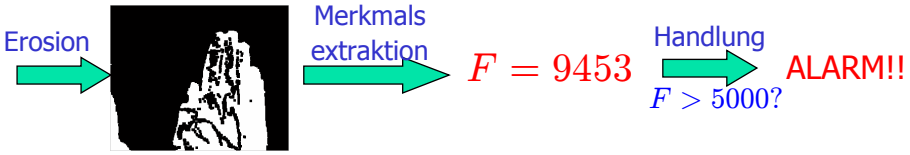
- Briefmarkensuche MICHELscope:[55]
  - entwickelt an der Uni Freiburg, kommerziell erhältlich
  - verschiedene Merkmale:





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

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

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.

Aufgaben

- 1. Kontur- vs. Regions-Merkmale
  Welche der einfachen geometrischen und topologischen Merkmale sind Konturmerkmale, welche Regionsmerkmale?
- 2. Invarianz:
  Beurteilen Sie die Invarianz der folgenden Merkmale bezüglich Verschiebung, Rotation um den Schwerpunkt, Vergrößerung mit Schwerpunkt als Zentrum:
  - a) Fläche, b) Masse, c) Umfang, d) Breite und Höhe
  - e) Schwerpunkt, f) Anzahl der Löcher in einem Segment
- 3. Merkmalsselektion
  Bestimmen Sie einen sogenannten minimalen Satz von Merkmalen auf Folie 5, d.h. bestimmen Sie, wieviele und welche Merkmale notwendig sind, um die Objekte noch unterscheiden zu können bei möglichst wenigen Merkmalen.
- 4. Bewegungsparameter:
  Oft sind auch „nicht-invariante" Merkmale sinnvoll, wenn man die genaue Bewegung ermitteln will, die zwischen zwei Objekten stattgefunden hat: Überlegen Sie eine Methode, wie man bei einer reinen Verschiebung eines Objektes aus bestimmten Merkmalen die genaue Verschiebung ermitteln kann (diese Größen nennt man auch Lageparameter oder Transformationsparameter)
- 5. Randcode:
  - a) Welche Kontur besitzt die Randcodierung 7622220660110557743346 ?
  - b) Drehen Sie die Kontur um 90° gegen den Uhrzeigerssinn und ermitteln sie die neue Randcodierung
  - c) Ermitteln Sie aus beiden Konturen die relativen Randcodierungen
  - d) Interpretieren Sie dies im Bezug auf den Begriff Rotationsinvarianz