Eigenschaften von Bildregionen

Prof. Dr. Klaus Jung

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

Verwendung / Nutzen

- Fernziel (derzeit noch nicht möglich)
  - Beschreibung des Bildinhaltes, z.B.
    - „Sonnenuntergang am Strand mit im Sand spielenden Hunden"
- Aktuelle Möglichkeiten
  - Berechnung mathematischer Eigenschaften
  - Mustererkennung (Pattern Recognition)
- Anwendungen
  - Klassifikation von Regionen
    - Optical Character Recognition (OCR)
  - Automatisches Zählen von Blutzellen
  - Inspektion von Fertigungsteilen am Fließband

Siehe z.B. Floodfilling (Unterscheidung Hammer zur Zange)

Berechnung mathematischer Eigenschaften

- Erkennen von Formmerkmalen (Features)
  - Feature = numerisches oder qualitatives Merkmal
    - Z.B. Größe als Anzahl der Pixel
  - Kombination verschiedener Features
    - Feature-Vektoren
    - Erstellen einer „Signatur" für eine Region

Einfach Zahlen: z.B. Histogramme, Kantenaktivitäten, etc. hier geht es eher um statistische Größen

- Ziele
  - Einfache / schnelle Berechnung
  - Robustheit
    - Invarianz gegen Verschiebung/Drehung/Skalierung
    - Fehlertolleranz

Buchstabe a kommt z.B. genau 2x vor, muss selbes Ergebnis haben Oder a ist 10x größer, sollte immer noch klappen

MPEG-7: Standard für Formmerkmale

- Kein Kompressionsstandard
- Ein System zur Beschreibung von multimedialen Inhalten
- Metadaten für
  - das Management der Erzeugung, Produktion und Nutzung von Inhalten
  - die Beschreibung von Inhalten in struktureller und semantischer Hinsicht,
  - die Organisation von Inhalten,
  - benutzerspezifische Daten wie Benutzerprofile
  - Aspekte des Zugriffs auf die Daten wie Ansichten und Zusammenfassungen.

MPEG-7: Standard für Formmerkmale

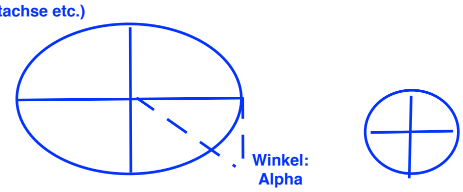
- Technische Bestandteile
  - Descriptors
    - Repräsentation eines Features
    - Visuelle Deskriptoren
    - Audio-Deskriptoren
  - Description Schemes
    - Vordefinierte Descriptorstrukturen
  - Description Definition Language (DDL)
    - XML-Schema zur Beschreibung von Descriptors und Description Schemes

Eine eigene Sprache um dies zu beschreiben. Im visuellen Bereich wird dieser Standard kaum noch benutzt

Eigenschaften von Binärregionen

- *Geometrische* Eigenschaften
  - Umfang
  - Fläche → **Anzahl der schwarzen Pixel**
  - Kompaktheit
  - Bounding Box
- *Statistische* Formeigenschaften
  - Schwerpunkt → **Mittelwert z.B.**
  - Momente
- *Momentenbasierte* geometrische Merkmale
  - Orientierung
  - Exzentrizität

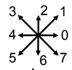
Exzentrität: Beschreibt Elipsenhafte Eigenschaften (Winkel zur Hauptachse etc.)



Umfang / *Perimeter*

Wurde bei uns mit 2er Nachbarschaft implementiert

Umfang entspricht der Summation der Längen der Konturelemente



$$Perimeter(R) = \sum_{i=0}^{M-1} length(c_i)$$

8er Nachbarschaft besser geeignet als 4er

Für die Geraden Richtungen

$$length(c) = \begin{cases} 1 & \text{für } c = 0,2,4,6 \\ \sqrt{2} & \text{für } c = 1,3,5,7 \end{cases}$$

Für die Diagonalen Richtungen

$$U(R) \approx 0{,}95 \cdot Perimeter(R)$$

Empirischer Korrekturfaktor

Fläche / *Area*

Anzahl der in der Region R enthaltenen Punkte

$$Area(R) = N = |R|$$

$$Area(R) \approx \frac{1}{2}\left|\sum_{i=0}^{M-1} x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1})\right|$$

Gauß'sche Flächenformel für Polygone

Dabei ist $y_{i\pm1} = y_{(i\pm1+M) \bmod M}$

und x_i, y_i sind die Koordinaten der Konturpunkte der Region

Hier muss noch darauf geachtet werden das wenn i=0 ist, yi-1 gleich dem letzten Index entspricht

Kompaktheit, Rundheit / *Circularity*

Verhältnis zwischen Fläche und quadratischen Umfang $A(R)/U^2(R)$ für einen Kreis:

Der Kreis ist das rundeste Objekt

Area (Fläche)

Rundheit ist im Mengenbereich von [0,1]

$$U = 2\pi \cdot r \qquad A = \pi \cdot r^2$$

Umfang

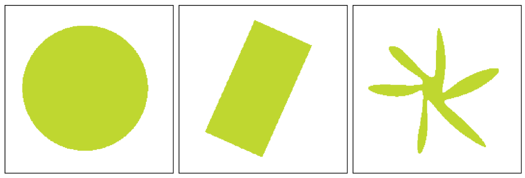
$$\frac{A}{U^2} = \frac{\pi \cdot r^2}{4\pi^2 \cdot r^2} = \frac{1}{4\pi}$$

Invariant gegenüber Verschiebungen, Drehungen, Skalierung

$$Circularity(R) = 4\pi \frac{Area(R)}{Perimeter^2(R)}$$

Wertebereich ist [0,1]

Beispiele zur Kompaktheit

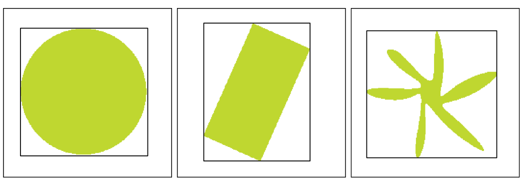


1.001 0.672 0.086

Umfang berechnet mit Korrekturfaktor U(R) = 0.95 * Perimeter

Bounding Box

$BoundingBox(R) = (x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max})$

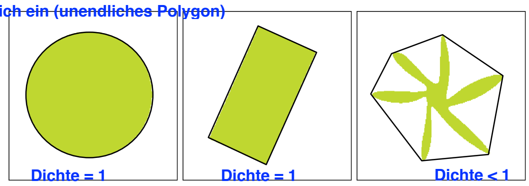


Konvexe Hülle

BoundingBox-Erweitert

Kleinstes Polygon, das alle Punkte der Region umfasst

Hier eigentlich ein (unendliches Polygon)



Dichte = 1 Dichte = 1 Dichte < 1

http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall08/cos226/demo/ah/GrahamScan.html

Man sucht den kleinsten Flächeninhalt

Dichte = A(R) / A(ConvexHull(R))

Man kann auch U & A für die Hülle berechnen

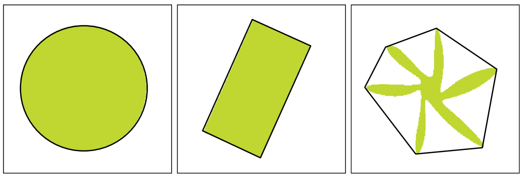
Somit können Vergleiche zwischen Hülle und Fläche gebildet werden

Verhältnis der Hülle zur Fläche

Konvexe Hülle

Konvexität heißt das ganze

Kleinstes Polygon, das alle Punkte der Region umfasst



http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall08/cos226/demo/ah/GrahamScan.html

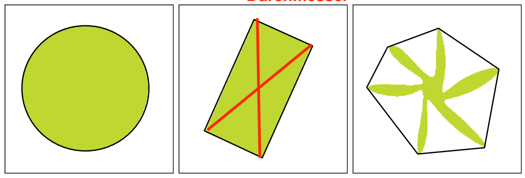
Konvexität = U(ConvexHull(R)) / U(R)

Konvexe Hülle / den Umfang der Fläche

Konvexe Hülle

Kleinstes Polygon, das alle Punkte der Region umfasst

Durchmesser



http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall08/cos226/demo/ah/GrahamScan.html

Durchmesser = Max. Abstand zweier Punkte der ConvexHull(R)

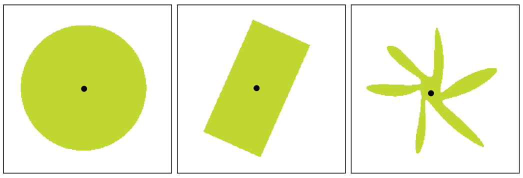
Hier z.B. alle Punkte der Konvexenhülle als Wertpaare bilden und den maximalen Abstand finden

Finden der Konvexen-Hülle mit Graham Algorithmus
1. Finde den 1. Punkt den du findest in Scanlineorder (links nach rechts, oben nach unten)
2. Berechne Strecken zu allen anderen Punkten und berechne deren Winkel zum sortieren nach aufsteigendem Winkel
3. Verbinde Punkte nach der Sortierung
4. Sollte der Winkel nicht nach Innen gehen (Links drehen) dann muss der Vorgänger wieder genommen werden und dann wird der nächste verbunden und so weiter

Schwerpunkt

Region { Menge aus Punkten (P1, P2, etc.) }
IRI = Anzahl der Punkte

$$\bar{x} = \frac{1}{|R|}\sum_{x,y\in R} x \quad und \quad \bar{y} = \frac{1}{|R|}\sum_{x,y\in R} y$$



Für alle Punkte wurden die X-Koordinaten summiert und durch die Anzahl geteilt (Mittelwert)

das gleiche für Y und das Ergibt den SchwerPUNKT

Momente

Das sind statistische Größen

m_10 : E x
m_0-1: E y
m_2-0: E x^2
etc.

I = Intensität des Graustufenbildes

Schwarz = 1
Grau = 0.5

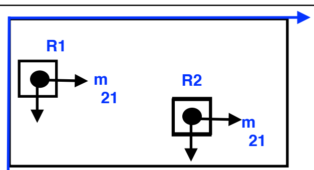
$$m_{pq} = \sum_{(x,y)\in R} I(x,y)\cdot x^p y^q \quad \text{allgemein (Graustufen)}$$

$$m_{pq} = \sum_{(x,y)\in R} x^p y^q \quad \text{binär}$$

E x^p * y ^q
ersetzt die obigen Momente

$$\text{Area(R)} = |R| = \sum_{(x,y)\in R} x^0 y^0 = \sum_{(x,y)\in R} 1 = m_{00}(R)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{|R|}\sum_{(x,y)\in R} x^1 y^0 = \frac{m_{10}(R)}{m_{00}(R)} \qquad \bar{y} = \frac{1}{|R|}\sum_{(x,y)\in R} x^0 y^1 = \frac{m_{01}(R)}{m_{00}(R)}$$



Damit kann man zB. Erkennen ob Objekte öfter vorkommen, wichig: Jede Region muss so behandelt werden, das die Koordinatenachse vom Schwerpunkt ausgeht, sonst würden z.B. kleinere X-Werte andere Ergebnisse liefern

Zentrale Momente

Invariant gegenüber Verschiebungen

$$\mu_{pq} = \sum_{(x,y)\in R} I(x,y)\cdot(x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q \quad \text{allgemein (Graustufen)}$$

$$\mu_{pq} = \sum_{(x,y)\in R} (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q \quad \text{binär}$$

Korrekturberechnungen um die unterschiedlich angeordneten Regionen (z.B. zwei Quadarate an unterschiedlichen Orten im Bild) vergleichen zu können.

Normalisierte zentrale Momente

Wert des zentralen Moments ändert sich bei einer Skalierung der Region mit dem Faktor s um den Faktor

$$s^{(p+q+2)}$$

Normalisierte zentrale Momente:

Invariant gegenüber Verschiebungen und Skalierung

$$\bar{\mu}_{pq} = \mu_{pq}\cdot\left(\frac{1}{\mu_{00}}\right)^{\frac{p+q+2}{2}}$$

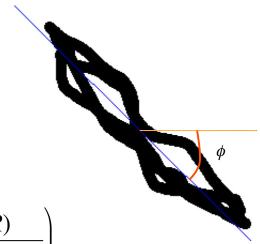
(Normierung auf die Wertänderung)

Korrekturberechnungen um z.B. Skalierungs-Unterschiede zu erkennen.

Ziel: Translation, Skalierung, Rotation sollen invariant werden

	Translation	Skalierung	Rotation
Moment	x	x	x
Zentrale Momente	j	x	x
Normalisierte. Zentrale Mom.	j	j	x
Hu-Momente	j	j	j

Orientierung einer Region



$$\varphi(R) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2\cdot\mu_{11}(R)}{\mu_{20}(R)-\mu_{02}(R)}\right)$$

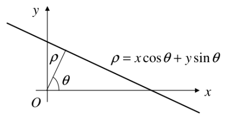
Derivation of Orientation

- The axis of second moment
  - The line for which the sum of the squared distances between object points and the line is minimum
  - Compute the least-squares fit of a line to the object points
  - Let r_{ij} be the distances of all object points from the line, then

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} r_{ij}^2 B[i,j]$$

- Using polar coordinate system, let $\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$, then for each objects to the line

$$r_{ij}^2 = (x_{ij}\cos\theta + y_{ij}\sin\theta - \rho)^2$$



Derivation of Orientation

- Thus, $\chi^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij}\cos\theta + y_{ij}\sin\theta - \rho)^2 B[i,j]$
- Take the derivative w.r.t. ρ, set to zero, and solve for ρ:*

$$\frac{\partial\chi^2}{\partial\rho} = -2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij}\cos\theta + y_{ij}\sin\theta - \rho)B_{ij}$$

$$\Rightarrow \rho = \bar{x}\cos\theta + \bar{y}\sin\theta$$

- Let $x' = x - \bar{x}$ and $y' = y - \bar{y}$, then $\chi^2 = a\cos^2\theta + b\sin\theta\cos\theta + c\sin^2\theta$ with*

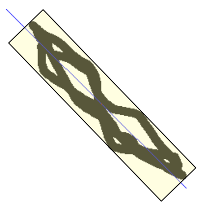
$$a = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij}')^2 B[i,j],\; b = 2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}'y_{ij}'B[i,j],\; c = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(y_{ij}')^2 B[i,j]$$

- Thus, $\chi^2 = \frac{1}{2}(a+c) + \frac{1}{2}(a-c)\cos 2\theta + \frac{1}{2}b\sin 2\theta$
- Take the derivate w.r.t. θ, set to zero, and solve for θ:

$$\tan 2\theta = \frac{b}{a-c}$$

Exzentrizität einer Region

Suche nach der gedrehten Bounding-Box mit maximalem Seitenverhältnis



$$Eccentricity(R) = \frac{\left[\mu_{20}(R)-\mu_{02}(R)\right]^2 + 4\cdot\left[\mu_{11}(R)\right]^2}{\left[\mu_{20}(R)+\mu_{02}(R)\right]^2}$$

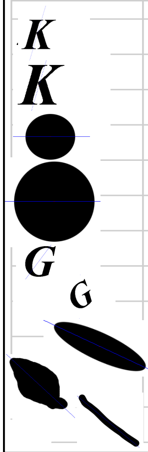
Wertebereich ist [0,1]

Invariante Momente

Normalisierte zentrale Momente sind unabhängig von Ort und Skalierung.

Hu's Momente kombinieren diese so, dass sie unabhängig von der Rotation werden.

$$H_1 = \bar{\mu}_{20} + \bar{\mu}_{02}$$
$$H_2 = (\bar{\mu}_{20} - \bar{\mu}_{02})^2 + 4\,\bar{\mu}_{11}^2$$
$$H_3 = (\bar{\mu}_{30} - 3\,\bar{\mu}_{12})^2 + (3\,\bar{\mu}_{21} - \bar{\mu}_{03})^2$$
$$H_4 = (\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 + (\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2$$
$$H_5 = (\bar{\mu}_{30} - 3\,\bar{\mu}_{12})\cdot(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})\cdot\left[(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 - 3(\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2\right] + (3\,\bar{\mu}_{21} - \bar{\mu}_{03})\cdot(\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})\cdot\left[3\,(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 - (\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2\right]$$
$$H_6 = (\bar{\mu}_{20} - \bar{\mu}_{02})\cdot\left[(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 - (\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2\right] + 4\,\bar{\mu}_{11}\cdot(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})\cdot(\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})$$
$$H_7 = (3\,\bar{\mu}_{21} - \bar{\mu}_{03})\cdot(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})\cdot\left[(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 - 3\,(\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2\right] + (3\,\bar{\mu}_{12} - \bar{\mu}_{30})\cdot(\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})\cdot\left[3\,(\bar{\mu}_{30} + \bar{\mu}_{12})^2 - (\bar{\mu}_{21} + \bar{\mu}_{03})^2\right]$$



Winkel	Ecc	H1	H2	H3	H4
-74	0.162	0.329	-0.116	-0.00920	0.00088
-74	0.157	0.319	-0.111	-0.00570	0.00070
0	0.006	0.160	0.013	0.00000	0.00000
0	0.000	0.159	0.000	0.00000	0.00000
-53	0.014	0.446	-0.018	-0.09092	0.00461
-89	0.017	0.446	-0.058	0.06346	0.00474
25	0.741	0.313	0.129	0.00025	0.00000
43	0.348	0.203	-0.006	-0.00037	0.00001
40	0.964	0.932	-0.640	0.10054	0.00061