Was bisher geschah

- Definition digitaler Bilder $B : \text{pos} \to \text{col}$
- Bildanalyse, statistische Merkmale
- Signale im Orts- und Frequenzraum
- Bildbearbeitung durch
  - Punktoperationen (Farbtransformation) $f : \text{col}_1 \to \text{col}_2$ (punktweise Fortsetzung auf Gesamtbild)
  - geometrische Transformationen (Koordinatentransformation) $f : \text{pos}_1 \to \text{pos}_2$
  - lokale Operationen (abhängig von Nachbarschaft): Filter, morphologische Operationen
- Segmentierung: Erkennung von Regionen im Bild
  - punktbasiert, z.B. Schwellwertverfahren
  - regionenbasiert, z.B. region growing

Modellbasierte Segmentierung

gezielte Suche nach Regionen mit bekannten Merkmalen im Bild

übliche Verfahren verwenden

- Merkmale der gesuchten Regionen
  (z.B. durch Hit-and-Miss-Transformation,
  Ähnlichkeit der topologischen, geometrischen und statistischen Merkmale)
- Merkmale der Kontur der gesuchten Regionen,
  (z.B. durch Ähnlichkeit der Kettencodes)
- Merkmale von Standard-Konturteilen,
  z.B. (Ausschnitte von) Geraden, Kreise, Ellipsen
  (Hough-Transformation)

Finden von Geraden – Idee

Annahme (Modell):
gesuchte Konturteile = Geraden(abschnitte) im Bild

Idee (Voting-Verfahren):

- Gerade in $\mathbb{R}^2$: $g = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid y = mx + n\}$
- Voting: für jede potentielle Gerade g im Bild B:
  Zählen der Kontur-Positionen $(p_x, p_y) \in \text{pos}$ mit
  $p_y \approx mp_x + n$
- Geraden, auf denen sehr viele Konturpunkte liegen,
  enthalten wahrscheinlich Streckenabschnitte im Bild

Zählen in Akkumulator-Zellen:
Punkt $(m, n) \in \mathbb{R}^2$ repräsentiert Gerade
$g = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid y = mx + n\}$

Problem:
senkrechte Geraden nicht darstellbar,
kommen aber häufig in Bildern vor

Hough-Raum (für Geraden)

Idee (Hough, 1962): alternative Geraden-Darstellung (Hesse-Normalform)

$$g = \{\cos(\alpha)x + \sin(\alpha)y - d = 0\}$$

mit

$\alpha \in [0, 2\pi]$	–	Winkel von g zur x-Achse (Normale)
$d \in \mathbb{R}_{\geq 0}$	–	Abstand von g zu $(0,0) \in \mathbb{R}^2$ (maximaler Abstand durch Bildgröße bestimmt)

Hough-Raum: $H = [0, 2\pi] \times \mathbb{R}_{\geq 0}$

- Geraden im R^2 repräsentiert durch Punkte $(\alpha, d) \in H$
- Jeder Punkt $p = (p_x, p_y) \in \mathbb{R}^2$ liegt auf unendlich vielen Geraden im $\mathbb{R}^2$.
- Jeder Punkt $p = (p_x, p_y) \in \mathbb{R}^2$ entspricht der Kurve $d(\alpha) = p_x \cos(\alpha) + p_y \sin(\alpha)$ im Hough-Raum H.
- Die Gerade durch p und q in $\mathbb{R}^2$ entspricht dem Schnittpunkt der H-Kurven der Punkte p und q.
- Schnittpunkte vieler Kurven im Hough-Raum deuten auf Geraden(abschnitte) im Bild hin

Hough-Transformation (für Geraden)

modifiziertes Voting-Verfahren:

- Akkumulator-Zellen (Repräsentation der Geraden):
  Hough-Raum $H = [0, 2\pi] \times \mathbb{R}_{\geq 0}$
- für jede (potentielle) Kantenposition $p \in$ pos:
  Wert jeder Akkumulatorzelle auf H-Kurve von p erhöhen
- hohe akkumulierte Werte in $(\alpha, d) \in H$) entsprechen Geraden im Bild

Hough-Transformation ist robust gegenüber

- Unterbrechungen, verdeckte Bereiche,
- Rauschen

und damit geeignet z.B. zur

- Erkennung
- Ergänzung (Fortsetzung)

teilweise sichtbarer gerader Konturbereiche
(z.B. Fahrbahnmarkierungen)

Weitere Hough-Transformationen

analoge Verfahren für andere geometrische Formen

- Kreise

$$c = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid (x - m_x)^2 + (y - m_y)^2 - r = 0\}$$

  Parameterraum $(m_x, m_y, r) \in \text{pos} \times \mathbb{R}_{\geq 0}$ (3dimensional)
  (Dimensionsreduktion bei bekanntem Radius möglich)

- Ellipsen (5dimensional)

$$c = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey - 1 = 0\}$$

  (Reduktion auf kleinere Dimensionen möglich)

- andere parametrisch darstellbare Kurven