

Was bisher geschah

- ▶ Definition digitaler Bilder $B : \text{pos} \rightarrow \text{col}$
- ▶ Bildanalyse, statistische Merkmale
- ▶ Signale im Orts- und Frequenzraum
- ▶ Bildbearbeitung durch
 - ▶ Punktoperationen (Farbtransformation) $f : \text{col}_1 \rightarrow \text{col}_2$
(punktweise Fortsetzung auf Gesamtbild)
 - ▶ geometrische Transformationen
(Koordinatentransformation) $f : \text{pos}_1 \rightarrow \text{pos}_2$
 - ▶ lokale Operationen (abhängig von Nachbarschaft):
Filter, morphologische Operationen
- ▶ Merkmale von Regionen im Bild:
 - ▶ Kontur
 - ▶ Distanzbild
 - ▶ Skelett

Regionen

Region: zusammenhängende Gruppe von Positionen

Segmentierung: Extraktion und Trennung von Regionen im Bild

Annahmen:

- ▶ jede Region hat eine Bedeutung,
- ▶ Positionen in einer Region haben dieselbe Bedeutung,
- ▶ verschiedene Regionen haben verschiedene Bedeutung
z.B. enthalten verschiedene Objekte, Teile

Erkennung von Regionen (semantische Einheiten) durch

- ▶ gemeinsame Eigenschaften aller Pixel oder Pixelgruppen der Region, z.B. Intensität, Farbe, Textur
- ▶ signifikanten Unterschieden zwischen benachbarten Positionen
(Erkennung der Konturen)

Segmentierung – Anforderungen

gegeben: Bild $B : \text{pos} \rightarrow \text{col}$

gesucht: endliche Menge $R = \{r_1, \dots, r_n\}$ von Regionen
mit $\forall i \in \{1, \dots, n\} : r_i \subseteq \text{pos}$
und den folgenden Eigenschaften:

- ▶ Menge $R = \{r_1, \dots, r_n\}$ aller Regionen bildet eine **Zerlegung** von pos , d.h.

1. $\bigcup_{i \in \{1, \dots, n\}} r_i = \text{pos}$

2. $\forall i, j \in \{1, \dots, n\} : i \neq j \rightarrow r_i \cap r_j = \emptyset$

- ▶ Jede Region $r \in R$ ist **zusammenhängend**
(bildet eine Zusammenhangskomponente im
Nachbarschaftsgraphen)

Darstellung der Segmentierung (Zerlegung):

- ▶ Region $r \subseteq \text{pos}$: endliche Menge von Bild-Positionen,
Segmentierung $R = \{r_1, \dots, r_n\}$: endliche Menge von Regionen
(endlichen Mengen von Bild-Positionen),
- ▶ Zuordnung $r : \text{pos} \rightarrow R$ von Bild-Positionen $p \in \text{pos}$ zu Regionen

Segmentierung – Verfahren

Punkt-basiert: Zuordnung $pos \rightarrow R$ anhand des Wertes $B(p) \in col$ und evtl. Merkmale des Bildes / der Region
(Schwellwertverfahren, evtl. adaptiv, verschiedene Schwellwerte für verschiedene Bildbereiche)

Zusammenhangs-basiert: Zuordnung $pos \rightarrow R$ anhand von Merkmalen in Nachbarschaft von $p \in pos$

Regionen-orientiert: Erkennung zusammenhängender Regionen (Homogenität)
meist aus dem Inneren heraus

Form-orientiert: Finden von Regionen bekannter Form und Ausdehnung
(z.B. durch morphologische Operationen mit geeigneten Strukturelementen:
Opening, Hit-or-Miss)

Kanten-orientiert: Erkennung der Regionengrenzen (Diskontinuität)
Erkennung von Randpositionen z.B. durch Fourier-Transformation, Filter, morphologische Operationen

Homogenitätskriterien

Ähnlichkeiten

- ▶ einzelner Positionen, z.B.
 - ▶ Intensität
 - ▶ Farbe (Kombination von Intensitäten)
z.B. Mittelwerte, Intensitäts-Verhältnisse
- ▶ Texturen (charakteristische Intensitätsverteilungen) von Gruppen von Positionen
häufig verwendete Texturmerkmale:
 - ▶ statistische Merkmale
 - ▶ Co-Occurrence-Matrix
 - ▶ Fourier-Spektrum

Gebietswachstum (Region Growing, flood fill)

zur Erkennung zusammenhängender Regionen

Idee: Wiederholung der folgenden Schritte, solange noch Positionen ohne Regionenzuordnung existieren:

1. Beginn mit beliebiger (noch nicht einer Region zugeordneter) **Startposition** $p \in \text{pos}$,
für die auch noch kein Nachbar einer Region zugeordnet ist,
2. neue Region r initialisieren, p zu r hinzufügen
3. rekursiv:
alle zu p **ähnlichen Nachbarn** von p zu r hinzufügen

abhängig von:

- ▶ Nachbarschaftsrelation $N \subseteq \text{pos} \times \text{pos}$
- ▶ Ähnlichkeitsrelation $S \subseteq \text{col} \times \text{col}$ (bzw. $\text{col}^{m \times n} \times \text{col}^{m \times n}$)
z.B. Intensität, Farbe, Textur
- ▶ Startpositionen
z.B. Position mit minimalem Abstand von $(0, 0) \in \text{pos}$,
interaktiv, zufällig, Erfahrungswerte, Cluster-Schwerpunkte

je nach Anwendung, Bildqualität, ... verschieden

Markierung zusammenhängender Regionen

(Region Labeling, Connected component labeling)

- ▶ Bestimmen und gleichzeitiges Zählen der Regionen
- ▶ ordnet jeder Region (Vordergrund) eines Binärbildes eine eindeutige Markierung zu

Idee:

- ▶ einfache Modifikation des Region-Growing-Verfahrens
- ▶ vor Beginn Initialisierung aller Positionen mit Markierung 0 (noch nicht zugeordnet)
- ▶ für jede neu angelegte Region Markierung (Zähler) um 1 erhöhen
- ▶ Markierung an hinzugefügte Nachbarn übergeben

praktisch häufig (zeilenweise) Markierung in zwei Phasen:

1. provisorische Markierung
2. Verschmelzen verbundener Regionen (Ummarkierung)

Multiskalen-Strategien

Ziel: Bildanalyse in verschiedenen Größen (Auflösungsstufen)

- ▶ wenig aufwendige Untersuchung grober Strukturen
- ▶ feinere Untersuchung feiner Strukturen im Bild

Idee: Multiskalenraum (ähnlich menschlicher Wahrnehmung)

enthält Originalbild B_0 und weniger detaillierte Versionen B_k

Erzeugung der Multiskalen-Bilder (Pyramiden) (B_0, B_1, B_2, \dots)

durch wiederholte Ausführung der Schrittfolge

1. Glättung (durch Tiefpass-Filter, z.B. Gauß-Filter)
2. **reduce**: Komprimierung durch geringere Abtastrate, z.B. Gauß-Pyramide: Löschen jeder zweiten Zeile und Spalte
3. **expand**: Umkehrung durch Interpolation (nicht verlustfrei) zur Vergleichbarkeit der Bilder verschiedener Auflösungen

Laplace-Pyramide (redundanzarme Darstellung):

Schichten enthalten Differenz zwischen Bild B_k und

$\text{expand}(\text{reduce } B_k)$

Region-Merging

zur Erkennung zusammenhängender Regionen

Idee: Regionen-Adjazenz-Graph (RAG)

- ▶ Beginn: jede Bildposition ist eine Region (Knoten) und hat Kanten zu jedem Nachbarn
- ▶ wiederholte Vereinigung benachbarter Regionen mit gleichen / ähnlichen Eigenschaften (Homogenitätsbed.), (Verschmelzen der Knoten benachbarter ähnlicher Regionen)
- ▶ Ende, sobald keine Änderung mehr eintritt (nur noch Kanten zwischen unähnlichen Regionen)

nebenbei möglich:

Zuordnung eindeutiger Markierungen zu den Regionen
(Region Labeling)

und damit auch das Zählen der Regionen
(Anzahl der verbliebenen Markierungen)

Split-and-Merge-Verfahren

zur Erkennung zusammenhängender Regionen

Idee: Region-Merging mit Multiskalen-Strategie

Region-Merging mit Regionen verschiedener Größen

- ▶ Beginn: gesamtes Bild bildet eine Region
- ▶ wiederholte Ausführung folgender Schritte:
 - split**: rekursive Zerlegung inhomogener Regionen in Teilbilder (Quadranten)
(Quad-Tree mit Regionen als Blättern)
 - merge** : Vereinigung benachbarter Regionen mit gemeinsamer Eigenschaft, solange möglich
- ▶ Ende, sobald keine Änderung mehr eintritt

Extraktion von Konturen

Darstellung von Konturen:

gegeben: Menge von Positionen $P \subseteq \text{pos}$
(mit großen Unterschieden zu Nachbarpositionen)

gesucht: geschlossene Kontur
zusammenhängende Menge
(bzgl. einer Nachbarschaft)

Repräsentation von Konturen:

- ▶ Menge aller Kontur-Positionen $K \subseteq \text{pos}$
- ▶ Freeman-Kettencode
- ▶ Polygonzug (Folge von Streckenabschnitten)
- ▶ Folge von Kurvenabschnitten

Repräsentation von Konturen durch Kettencodes

Folge von Richtungen beim Umrunden der Kontur
(entgegen Uhr)

$$N_4(p) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & \\ \hline 2 & \bullet & 0 \\ \hline & 3 & \\ \hline \end{array} \quad N_8(p) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3 & 2 & 1 \\ \hline 4 & \bullet & 0 \\ \hline 5 & 6 & 7 \\ \hline \end{array}$$

Beispiel:

		x	x	x	
	x	x	x	x	
	x	x	x		
		x	x	x	
	x	x	x	x	
	x	x	x	x	

		2	2	•	
	2	3	1	0	
	3	0	1		
		3	2	1	
	2	3	x	1	
	3	0	0	0	

		4	4	•	
	5	x	x	1	
	6	x	3		
		7	x	2	
	5	x	x	2	
		7	0	0	

		0	0	•	
	1	x	x	-2	
	1	x	1		
		1	x	0	
	-2	x	x	2	
		2	1	0	

$$C_4(R) = 22323033230001121101, \quad C_8(R) = 44567570022312$$

Differentieller Kettencode (Richtungswechsel):

$$D_8(R) = 00111(-2)210201(-2)1$$

ermöglicht Kompression und einfache Nachbearbeitung, z.B.

Konturglättung, Bestimmung von Randpunkten hoher Krümmung