

2. Das digitale Bild und seine Eigenschaften

Digitales Bild:

Matrix $f = (f_{m,n})$, $m = 0; 1; \dots, m_{\max}$, $n = 0; 1; \dots, n_{\max}$

Werte $f_{m,n}$ entsprechen Helligkeiten (brightness) oder anderen Größen

$f_{m,n} \in \{0; 1\}$: Binärbild

$f_{m,n} \in \{0; 1; \dots; \text{Max}\}$: Grauwertbild

$f_{m,n} \in \{0; 1; \dots; \text{Max}\} \times \{0; 1; \dots; \text{Max}\} \times \{0; 1; \dots; \text{Max}\}$:
Farbbild für Farbmodell mit 3 Komponenten
(RGB, YIQ, HSV, HLS...)

$f_{m,n} \in \{0; 1; \dots; \text{Max}\} \times \{0; 1; \dots; d_{\max}\}$: attributiertes
Grauwertbild, z.B. mit Tiefeninformation

räumliche Auflösung eines Bildes f : $(m_{\max}+1, n_{\max}+1)$

spektrale Auflösung: Bandbreite des Frequenzbereichs
des verwendeten Sensors bei der Aufnahme

radiometrische Auflösung: Anzahl unterscheidbarer
Graustufen (Max+1)

zeitliche Auflösung (bei Bildfolgen): Zeitintervall
zwischen 2 aufeinanderfolgenden Einzelbildern

Bilder werden auch aufgefasst als:

- Linearkombination einfacher, 2-dim. Basisfunktionen (z.B. trigonometrische Funktionen: Fourier-Analyse) \rightarrow Bild im math. Modell als kontinuierliche Funktion $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$
- Realisierung stochastischer Prozesse (\rightarrow Anwendung beschreibender und schließender Statistik)

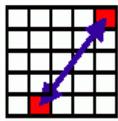
Eigenschaften von Bildern und Bildinhalten

- **Distanzmaße**

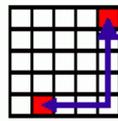
Euklidische Distanz $D_E[(i, j)(h, k)] = \sqrt{(i-h)^2 + (j-k)^2}$

City Block Distanz $D_4[(i, j)(h, k)] = |i-h| + |j-k|$

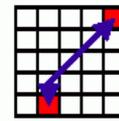
Schachbrett Distanz $D_8[(i, j)(h, k)] = \max\{|i-h|, |j-k|\}$



$$D_E = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

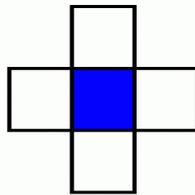


$$D_4 = 3 + 4 = 7$$

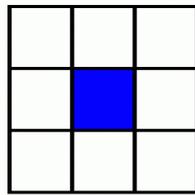


$$D_8 = \max(3, 4) = 4$$

Nachbarschaften

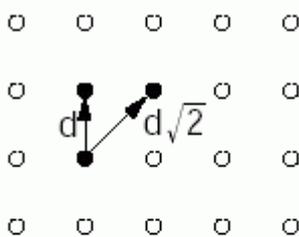


4er Nachbarschaft



8er Nachbarschaft

Orthogonalraster



P_{NW}	P_N	P_{NO}
P_W	P	P_O
P_{SW}	P_S	P_{SO}

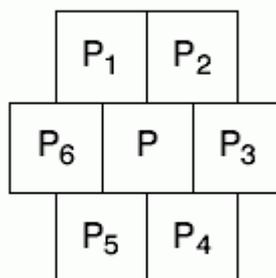
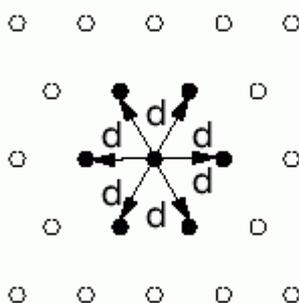
4 er Nachbarschaft :

$$N_4(P) = \{P_N, P_O, P_S, P_W\}$$

8 er Nachbarschaft :

$$N_8(P) = \{P_N, P_{NO}, P_O, P_{SO}, P_S, P_{SW}, P_W, P_{NW}\}$$

Hexagonalraster

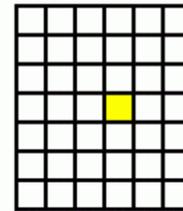
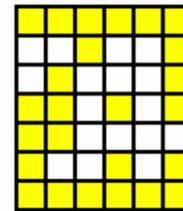
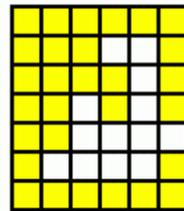
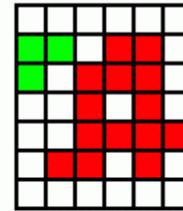
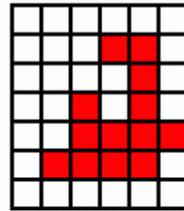
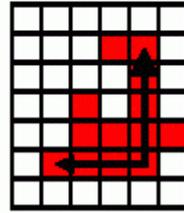


6 er Nachbarschaft :

$$N_6(P) = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\}$$

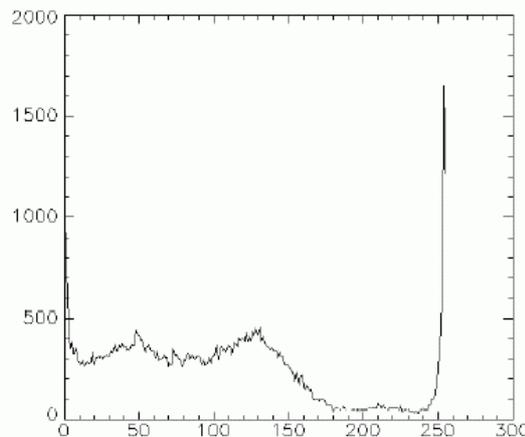
Topologische Merkmale

- Pfad
- Region
- Hintergrund
- Löcher



Das Histogramm der Grauwertverteilung (vgl. Übung 1)

- gibt die **Häufigkeiten** der Helligkeitswerte im Bild an.
- Algorithmus: Histogramm $h(*) = 0$
Für jeden Pixel (x,y) inkrementiere $h(f(x,y))$



auf der x-Achse können die Intensitätswerte klassiert werden, Histogramm dann abhängig von der gewählten Klassierung.

Normierung auf der y-Achse: Verwendung der relativen Häufigkeiten $h_{rel}(p) = h(p)/N$ ($N = \text{Anzahl der Pixel}$).

Alternative Beschreibung der Verteilung, unabh. von Klassierung:

die *kumulative Verteilungsfunktion*

$$h_c(p) = \sum_{i=0}^p h_{rel}(i)$$

eine monoton steigende Treppenfunktion

Informationen aus dem Histogramm:

Kenngößen der beschreibenden Statistik

Mittelwert, Varianz, Standardabweichung, Schiefe, Kurtosis (Exzess), Median, Quantile; Entropie, Anisotropiekoeffizient (siehe 1. Übung)

Form des Histogramms gibt i.allg. mehr Informationen als diese Kenngrößen!

Messung der Bildqualität:

- **Störungen** bei der Aufnahme, Übertragung
- Qualitätsansprüche hängen ab vom Verwendungszweck
- **Subjektive** Methoden: Visuelle Testgruppe
- **Objektive** Methoden: Differenzen zu Referenzbildern (quadratische Differenz, absolute Differenz, maximale Differenz) oder Auflösungsvermögen bei Linienbildern

Rauschen im Bild (Störungen):

- Beschreibung durch Wahrscheinlichkeiten
- **Weißes Rauschen**: Spektrum konstant
- **Gauß'sches Rauschen**
- Bei Bildern meist **additives** Rauschen

$$f(x, y) = g(x, y) + v(x, y)$$

- signal-to-noise-ratio (**SNR**)

$$SNR = \frac{F}{E} = \frac{\sum_{(x,y)} f^2(x, y)}{\sum_{(x,y)} v^2(x, y)}$$

- **Multiplikatives** Rauschen (z.B. Fernsehen)

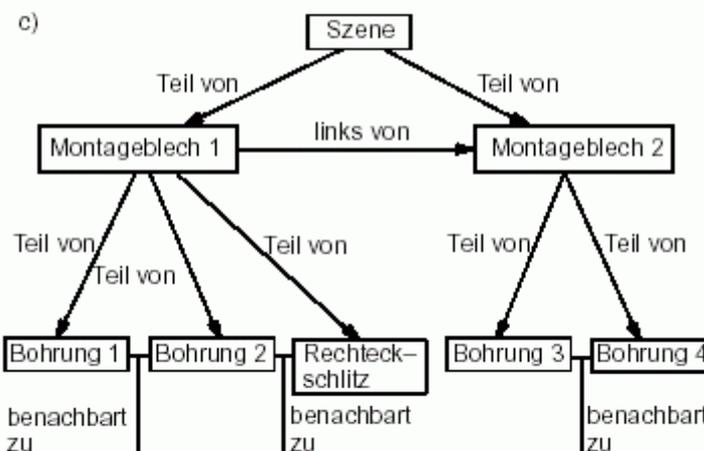
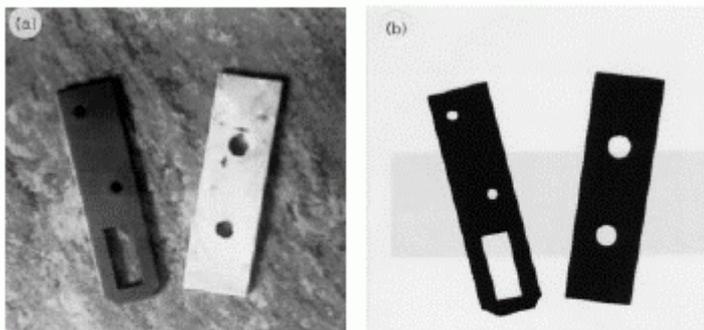
$$f = g + vg = g(1 + v) \approx gv$$

- **Quantisierungsrauschen**: entsteht wenn zu wenig Quantisierungsstufen verwendet werden.
- **Impulsrauschen**: nur einzelne Pixel sind verrauscht
- **Salt and Pepper Noise**: schwarze und weiße gestörte Einzelpixel

3. Datenstrukturen für Bildinformationen

- Datenorganisation beeinflusst Implementierung erheblich!
- Datenrepräsentationsebenen
- Traditionelle Bilddatenstrukturen
Matrizen, Chains, Topologische Strukturen, Relationale Strukturen
- Hierarchische Bilddatenstrukturen
Pyramiden, Quadrees, ...

Darstellungsformen eines Bildes:



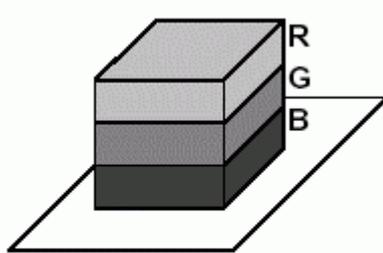
(a) Ikonisches Bild

(b) Segmentiertes Bild

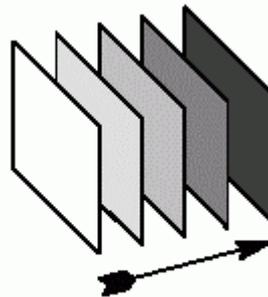
(c) Symbolische Beschreibung durch einen (attributierten) relationalen Graphen

- **Iconic Images:** Originaldaten, Bildmatrix mit Helligkeitswerten, Vorverarbeitung
- **Segmented Images:** Gruppierung von Bildteilen zu einzelnen Objekten
- **Geometric Repräsentation:** beinhalten Info über 2D und 3D Form
- **Relational Models:** Objekte + Wissen über die Objekte, AI, Frames, Semantische Netze

Repräsentationsformen von Bildern:



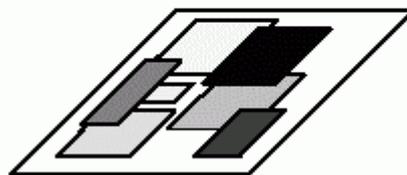
Vektorfelder, z.B. RGB-Feld



Folgen



Pyramiden

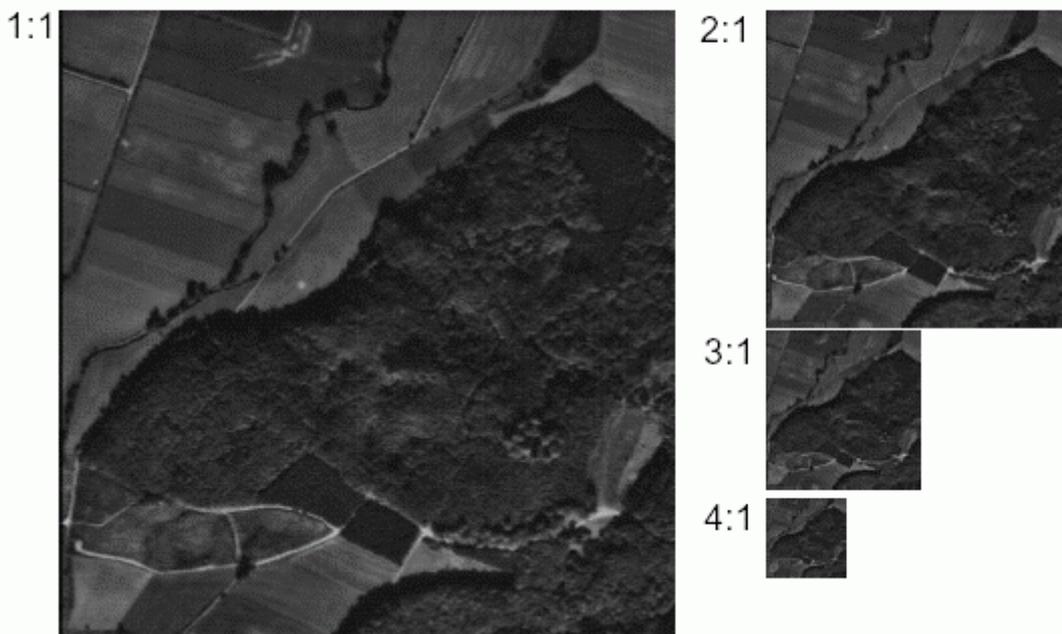


Mosaik

Häufigste und elementarste Form der Bilddarstellung: Matrizen

- entsprechen dem Format vieler Aufnahmegeräte
- Einträge der Matrix entsprechen Helligkeit oder anderen Eigenschaften
- auch hexagonale Abtastgitter können mit "gewöhnlichen" Matrizen dargestellt werden:
verschiebe jede 2. Zeile um ein halbes Pixel nach rechts
- räumliche Information implizit (Nachbarschaften)
- Verallgemeinerung: mehrere Matrizen mit gleichem Bildinhalt, aber unterschiedlicher Auflösung – Bildpyramide (= hierarchische Datenstruktur)

Bildpyramide



Co-occurrence-Matrix:

Einträge sind die abs. Häufigkeiten des Eintretens einer vorgegebenen Relation ρ zwischen 2 Helligkeitswerten i, j

– meist für Nachbarschaftsrelationen (siehe Übung 1)

- globale Bildinformation
- Darstellung von räumlich abhängigen Helligkeitswahrscheinlichkeiten
- Anwendung in der Texturanalyse

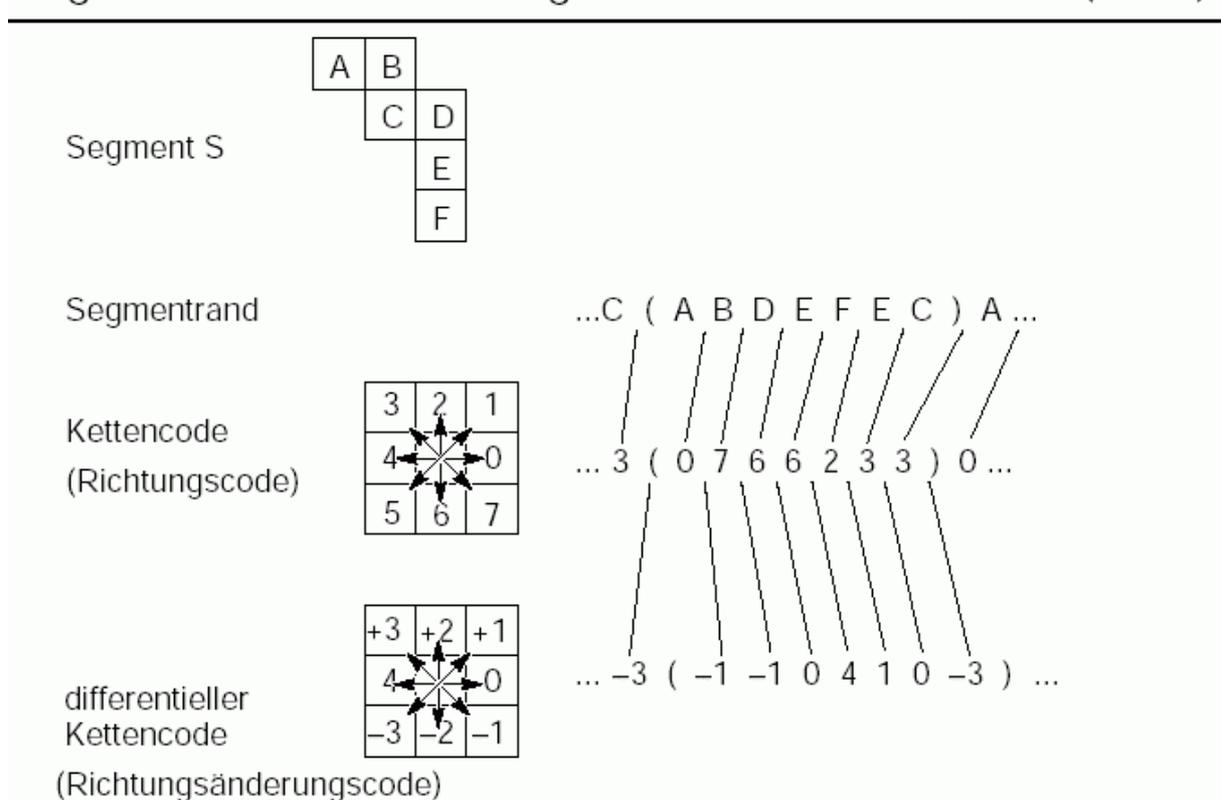
Ketten (Chains)

Verwendung zur Beschreibung von Regionen-Grenzen / Rändern

absoluter Kettencode: Referenzpunkt + globale Richtungsangaben (Nord, Ost, Süd, West etc.)

differenzieller Kettencode: lokale Richtungsangabe (vgl. Turtle Geometry), rotationsunabhängig

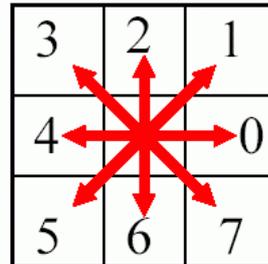
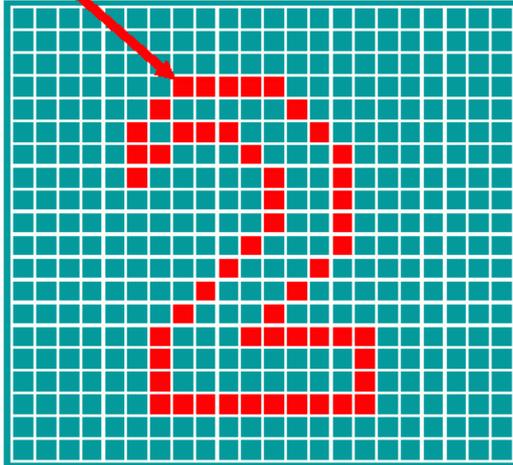
Segmentrandbeschreibung durch Flächenelemente (Pixel)



Beispiel:

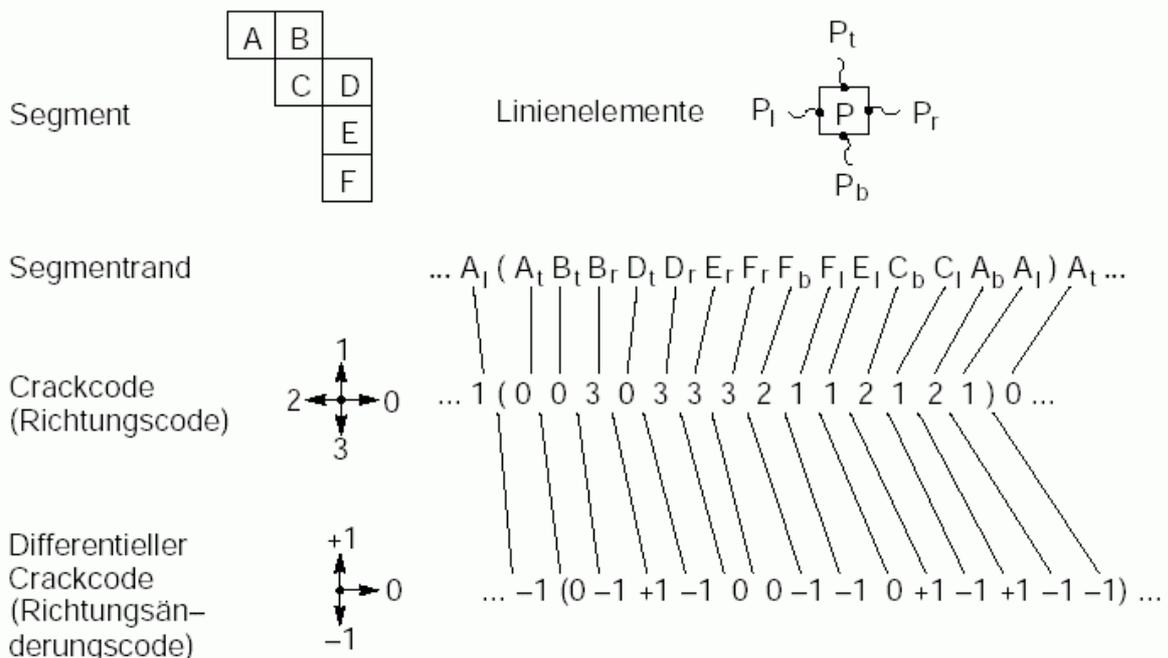
- mit absoluten Richtungscodes

00007776666555500000666444444442221111122334455221



Modifikation: Crackcode

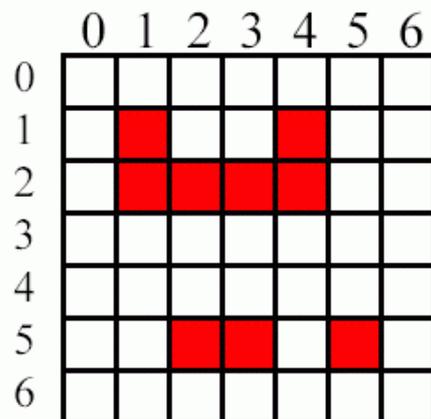
Segmentrandbeschreibung durch Linienelemente (Cracks)



Laufängencodierung (run length coding):

- für einzelne Zeilen werden Intervalle gleicher Intensität durch Anfangs- und Endposition (oder durch Anfang und Länge) beschrieben
- Verwendung z.B. beim Fax

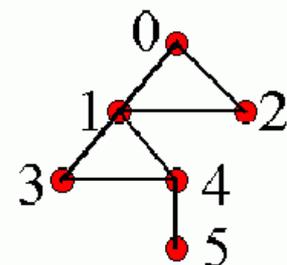
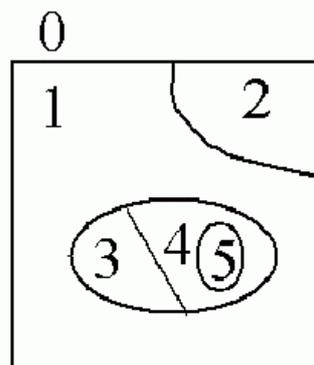
Beisp.:



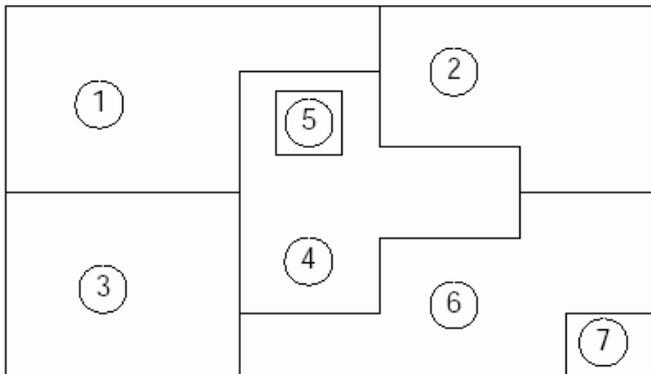
(11144)(214)(52355)

Topologische Datenstrukturen

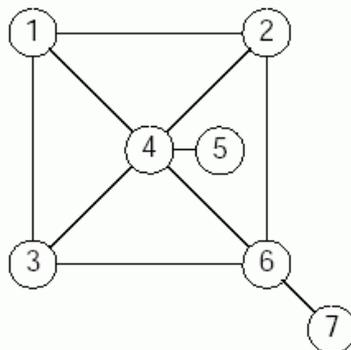
- Bildelemente und deren Relationen darstellen
- Graph=(V,E) mit Knoten V und Kanten E
- gewichteter Graph
- Region adjacency graph:



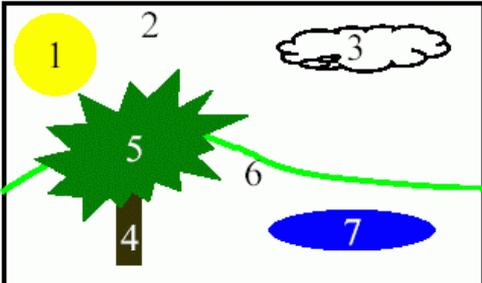
a) Regionen in der Bildmatrix



b) zugehöriger Nachbarschaftsgraph



Relationale Strukturen



No	Objekt	Farbe	X	Y	Inside
1	Sonne	gelb	5	40	2
2	Himmel	blau	0	0	-
3	Wolke	weiß	20	180	2
4	Baumstamm	braun	95	75	6
5	Baumkrone	grün	53	63	-
6	Hügel	hellgrün	97	0	-
7	Teich	blau	100	160	6

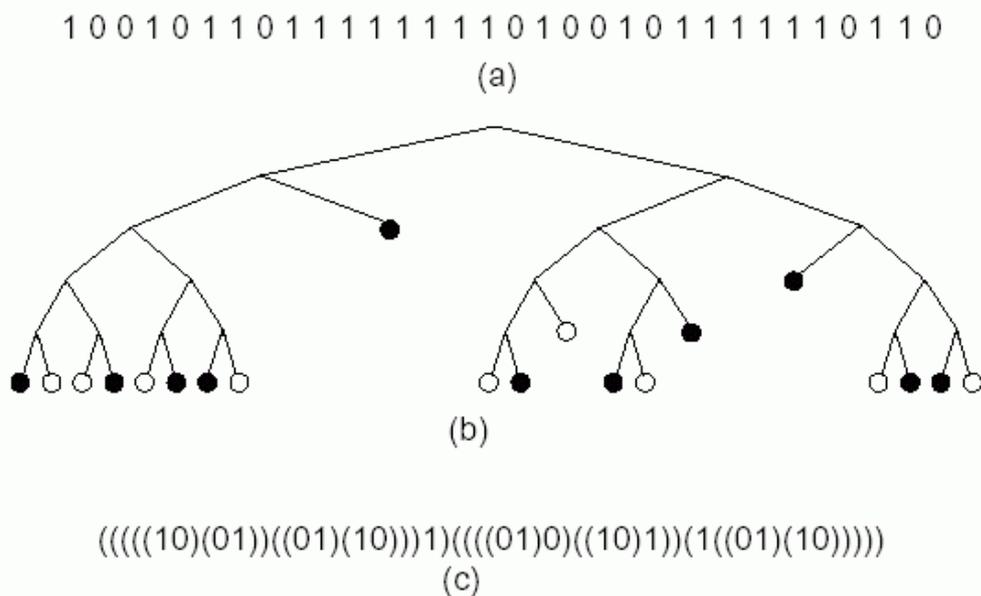
- für high-level Anwendungen

Hierarchische Datenstrukturen

- Bildverarbeitung ist rechenintensiv aufgrund der großen Datenmengen
- Darstellung der Daten in verschiedenen großen Mengen
 - erste Schritte mit wenig Daten
 - Verfeinerung nur wo notwendig
- Bildpyramiden
- Quadrees

1-dimensionaler Fall:

Repräsentation einer Bildzeile durch einen Binärbaum



(a) Zeile eines Binärbildes

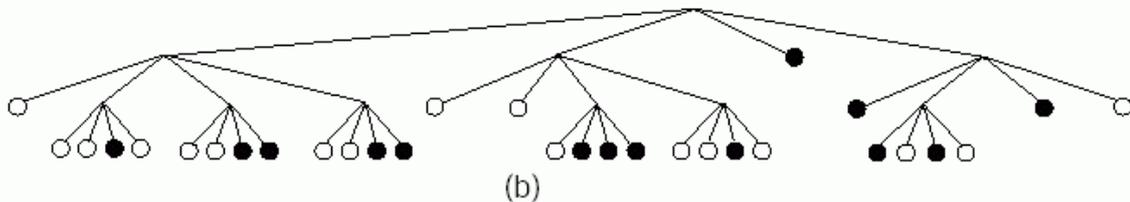
(b) Repräsentation der Zeile als Binärbaum

(c) Repräsentation des Binärbaums als String

Bildrepräsentation durch einen Quaternärbaum (Quadtree)

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0

(a)



(b)

(a) Bildaufteilung

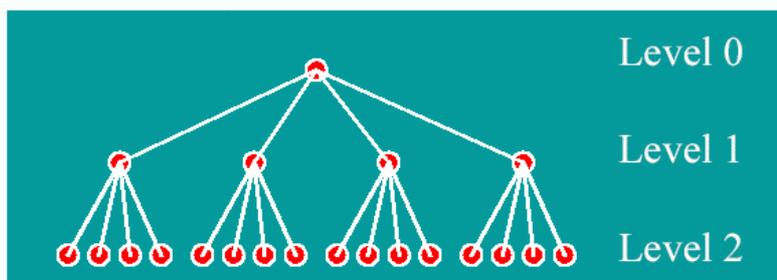
(b) Darstellung als Baum

Bildpyramide:

- Matrixpyramiden: Folge von Matrizen

$$\{M_L, M_{L-1}, \dots, M_0\}$$

- L ... Pyramidenebene
- Darstellung als Baum: Tree-Pyramid



Quadtree:

- Spezialfall einer Baumpyramide
- homogene Flächen werden nicht weiter unterteilt.
- NT: Geringe Verschiebungen im Bild haben starke Auswirkungen im Quadtree

