

Grundlagen

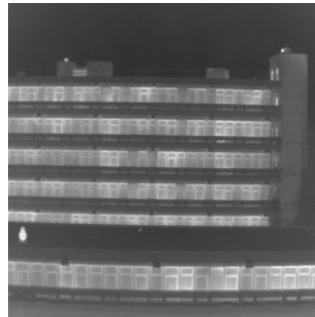
- Bildtypen
- Beleuchtung
- Quantisierungen von Bildern
- Digitale Topologie
- Globale Charakterisierung von Bildern
- Übersicht über Bildverarbeitungsoperatoren

Einteilung von Bildern

- Grauwertbilder, Intensitätsbilder
- Farbbilder: Rot, Grün, Blau
- Multispektrale Bilder: verschiedene Spektralbereiche (neben Farbkanälen RGB auch Kanäle mit anderen Wellenlängen)
- Binärbilder (Zweipegelbilder): Ergebnis der Bildvorverarbeitung; z.B. Hintergrund / Text in Schrifterkennung
- Abstandsbilder, Tiefenbilder



- Thermographische Bilder: Temperatur der abgebildeten Objekte

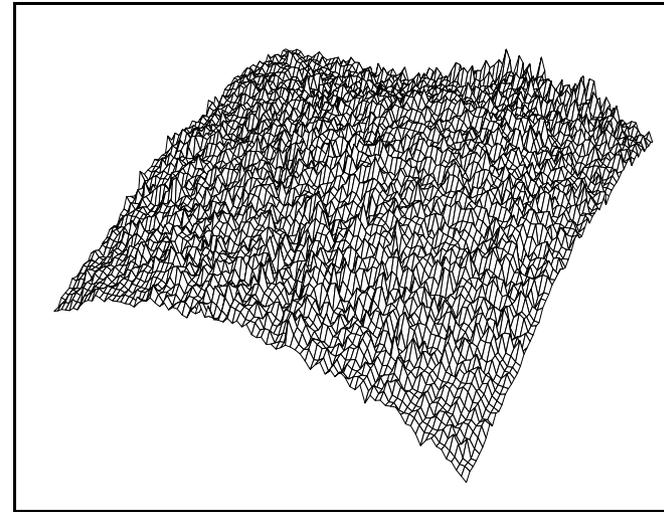
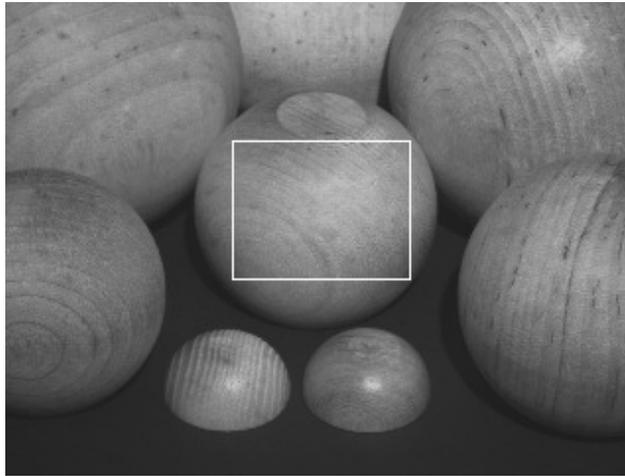


- Medizinische Bilder (Röntgen, CT, PET, etc.)

Bildquellen

- Videokamera (analog / Framegrabber, digital)
Kamera von Philips mit 7000×9000 Bildpunkten;
Bildsensor von Photobit mit 500 Hz bei 1280×1024 Bildpunkten (660 MB/s Datenrate)
- Hand- und Flachbett-Scanner
- Laser-Scanner (Tiefenbilder)
- Infrarotkamera
- Medizinische Bildaufnahme-Geräte (Röntgengerät, etc.)
- Synthetische Bilder (Computergrafik, Visualisierung)

Was ist ein digitales (Grauwert)bild? (1)



118	119	129	120	125	112	117	123	117	135	123	134	143	153	151	150	137	149	147	153	145	140	140
117	126	118	132	112	120	130	137	130	136	136	137	157	156	161	148	157	155	161	152	145	142	144
122	122	120	132	125	125	136	133	130	143	152	148	153	156	157	172	170	162	168	161	142	142	148
132	135	136	142	118	137	145	144	142	139	153	146	158	157	169	170	175	170	163	165	158	151	155
131	132	140	141	138	140	146	147	159	151	157	156	170	171	181	181	179	168	168	155	150	153	145
133	140	137	143	148	145	151	164	163	160	171	167	172	190	186	180	176	182	166	158	149	144	144
133	132	145	145	147	155	145	164	166	169	172	177	189	178	178	175	180	177	172	157	165	150	141
126	137	136	143	149	151	153	165	166	155	167	181	177	178	179	174	179	166	170	161	155	151	146
125	131	126	131	144	150	157	163	161	165	169	177	180	168	174	171	162	171	167	163	166	150	142
127	132	136	155	145	147	139	160	156	168	161	180	164	164	159	171	169	161	172	157	165	151	140
122	131	129	149	146	147	171	144	159	173	173	184	178	173	165	170	167	169	159	155	149	140	126
120	136	142	143	134	144	152	154	149	160	154	163	164	170	166	165	148	144	152	146	151	129	129
107	118	121	125	138	147	147	160	161	147	152	160	150	147	165	163	163	145	134	139	143	127	113
102	111	118	129	136	134	147	129	155	157	138	156	160	154	155	152	143	134	131	139	134	111	115
92	99	116	115	130	133	132	140	142	146	132	133	151	140	142	136	134	136	124	118	118	104	100

Was ist ein digitales (Grauwert)bild? (2)

Bild der Größe $M \times N$: zweidimensionale Matrix

$$\begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix}$$

oder in Kompaktform

$$\{f(r,c) \mid 1 \leq r \leq M, 1 \leq c \leq N\}$$

wobei $f(r,c)$:

- Intensität, z.B. $[0,255]$ (Intensitätsbilder)
- Farben RGB (Farbbilder)
- $\{0, 1\}$ (Binärbilder)
- $\{a, b\}$, z.B. $a = 0, b = 255$ (Zweipegelbilder)
- (x, y, z) (Tiefenbilder)

Bildpunkt $f(r,c)$ wird auch als Pixel (picture element) bezeichnet

Beleuchtung

- Unkontrolliertes Licht
Große Herausforderung für jedes Bildanalyse-System. Sensoren für autonome Fahrzeuge z.B. müssen sich dieser Herausforderung stellen.
- Kontrollierte Beleuchtung, insb. für industrielle Mess- und Prüfaufgaben
 - Aufsicht
Beleuchtung auf derselben Seite des Objektes wie die Kamera; das Schattenproblem durch Einsatz von Ringlicht lösbar
 - Durchlicht: Objekt zwischen Lichtquelle und Kamera
 - Silhouetten-Projektion by nichttransparenten Objekten
Umriss sichtbar; leichte Trennung von Objekt und Hintergrund
 - Durchleuchtung bei transparenten Objekten
Innere Struktur sichtbar, z.B. Detektion von Inhomogenitäten in Glas; Erkennung von Lufteinschlüssen in Aluminiumfelgen durch Röntgen-Durchstrahlung; unzählige weitere Beispiele in Biologie und Medizin

Quantisierung von Bildern (1)

Diskretisierung kontinuierlicher Signale im Orts- und Intensitätsbereich

- Intensität nur an diskreten Punkten der Bildvorlage bzw. des Sensorfeldes messen; z.B. 64×64 , 128×128 , 256×256 , oder höher



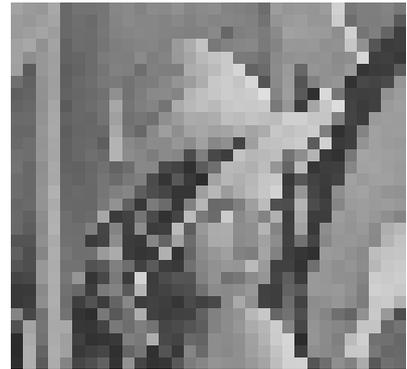
256×240



128×120



64×60



32×30

Bildbetrachtung: Pixelgröße kleiner als räumliche Auflösung des visuellen Systems des Beobachters bei gegebener Entfernung

Bezogen auf bestimmte Aufgabe: Pixelgröße kleiner als kleinste Objekte, die untersucht werden

Quantisierung von Bildern (2)

- Intensitätsbereich in endlich viele Intervalle zerlegen; k Bit $\equiv 2^k$ Intensitätsstufen; standardmäßig 8 Bit (passend zur Rechnerarchitektur)



8 Bit

6 Bit

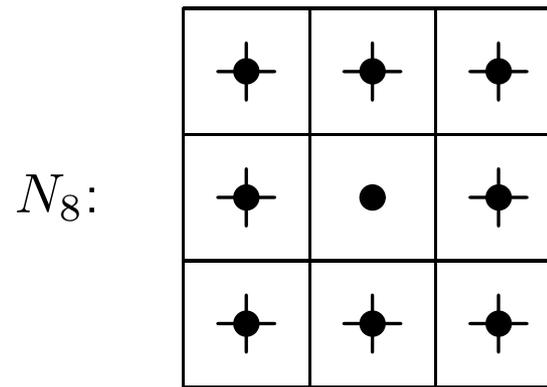
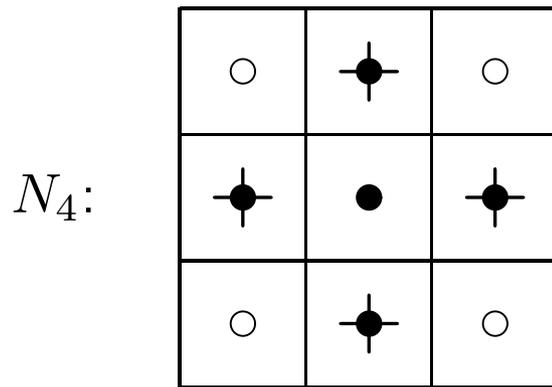
4 Bit

2 Bit

Zu wenige Grauwerte \Rightarrow falsche Kanten. Das menschliche Auge kann etwa 64 Graustufen unterscheiden.

Konflikt: Bildqualität \iff Speicherbedarf / Rechenzeit

Digitale Topologie: Quadratisches Gitter



4- bzw. 8-Nachbarschaft eines Bildpunktes $p = (r, c)$:

$$N_4 = \{(u, v) \mid |u - r| + |v - c| = 1\}$$

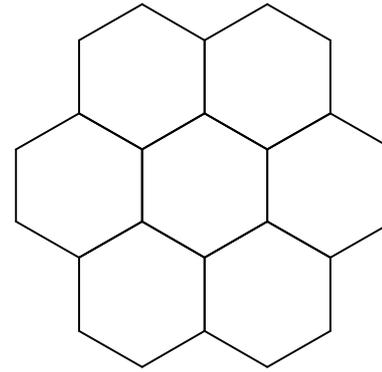
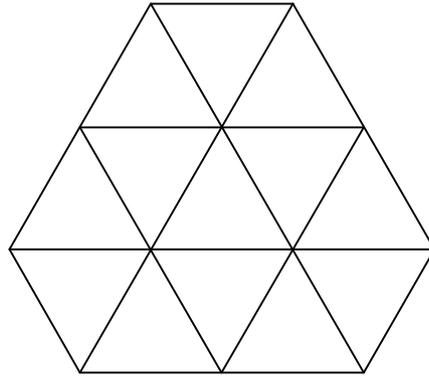
$$N_8 = \{(u, v) \mid \max\{|u - r|, |v - c|\} = 1\}$$

Vier direkte Nachbarn: gemeinsame Kante mit p (in der Mitte)

Vier indirekte Nachbarn: gemeinsame Ecke

Diese Tatsache führt zu unbequemen Fallunterscheidungen bei Bildalgorithmen auf quadratischem Gitter

Digitale Topologie: Andere geometrische Anordnungen



Dreiecksgitter: 3er- oder 12er-Nachbarschaft, bei denen die Nachbarn entweder eine gemeinsame Kante oder Ecke haben

Hexagonalgitter: Nur 6er-Nachbarschaft möglich; lauter gleichberechtigte Nachbarn (eine gemeinsame Kante + zwei gemeinsame Ecken)

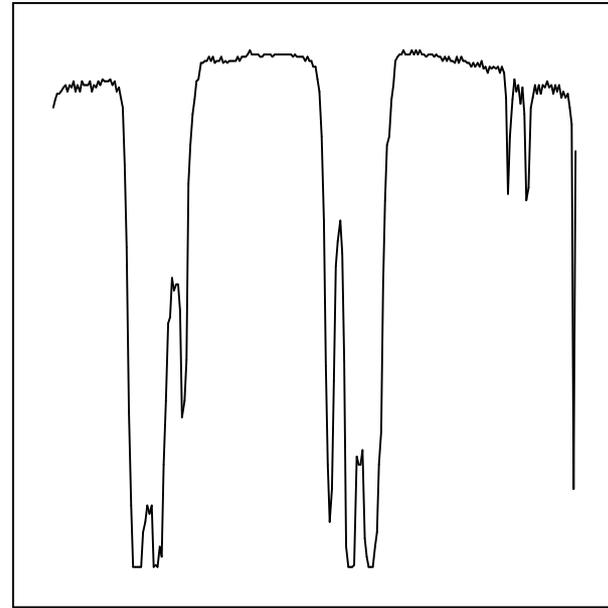
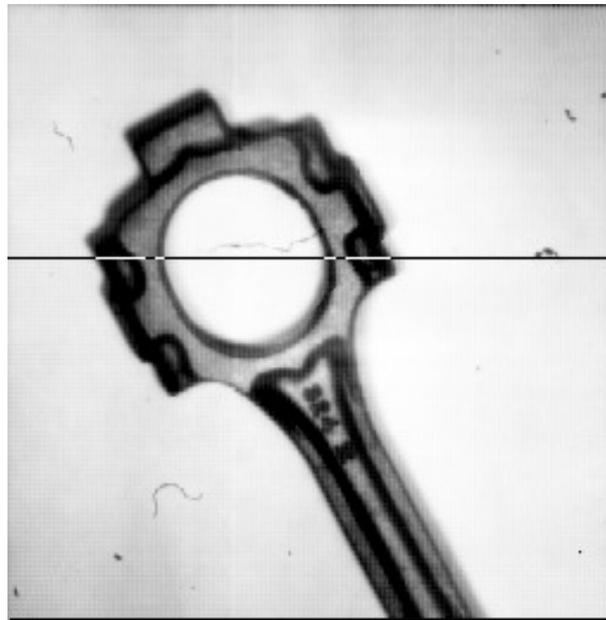
In der Natur: Nervenzellen auf der Retina, Bienenwaben, Kristalle

In Bildverarbeitung selten verwendet (fast alle handelsüblichen Bildsensoren liefern Pixel auf quadratischem Gitter)

Globale Charakterisierung von Bildern (1)

Die Charakterisierungsmethoden lassen sich auch für Bildteile einsetzen

- Profil
Grauwerte entlang einer (auch gekrümmten) Linie; Aussagen über Untergrundbeschaffenheit, Kantensteilheit, usw.



Globale Charakterisierung von Bildern (2)

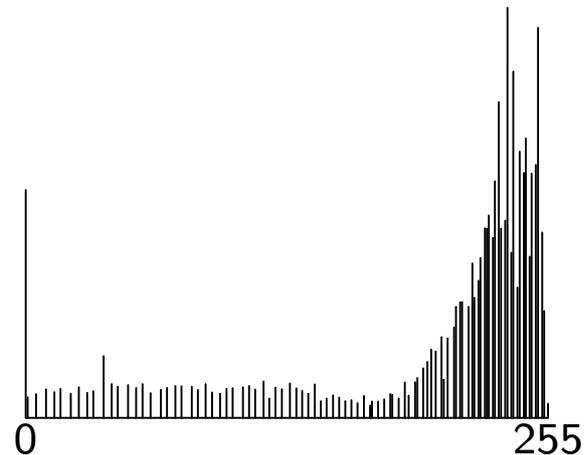
- Histogramm (Größe $M \times N$, Grauwertbereich [0..255])
 - Das absolute Grauerthistogramm $H(k)$: absolute Häufigkeit, mit welcher Grauwert k auftritt

$$H(k) = |\{(r, c) \mid f(r, c) = k\}|; \quad \sum_{k=0}^{255} H(k) = MN$$

- Das relative Grauerthistogramm $h(k)$: relative Häufigkeit, mit welcher Grauwert k auftritt

$$h(k) = \frac{H(k)}{MN}; \quad \sum_{k=0}^{255} h(k) = 1$$

Interpretation als Wahrscheinlichkeit des Ereignisses Grauwert= k



Globale Charakterisierung von Bildern (3)

- Mittlerer Grauwert

$$\bar{f} = \frac{1}{MN} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N f(r, c) = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{255} H(k) \cdot k = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot k$$

Auskunft über allgemeine Helligkeit (insgesamt zu hell/dunkel?)

Globale Charakterisierung von Bildern (3)

- Mittlerer Grauwert

$$\bar{f} = \frac{1}{MN} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N f(r, c) = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{255} H(k) \cdot k = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot k$$

Auskunft über allgemeine Helligkeit (insgesamt zu hell/dunkel?)

- Varianz oder mittlere quadratische Abweichung:

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N (f(r, c) - \bar{f})^2 = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot (k - \bar{f})^2$$

Varianz ist Maß für Abweichungen der Grauwerte aller Pixel vom Mittelwert \bar{f} und beschreibt den Kontrast

Es gilt:

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{r=1}^M \sum_{c=1}^N f^2(r, c) - (\bar{f})^2$$

Globale Charakterisierung von Bildern (4)

- Entropie: Maß für mittleren Informationsgehalt:

$$H_e = - \sum_{k=0}^{255} p(k) \cdot \log_2 p(k); \quad p(k) \equiv h(k); \quad 0 \cdot \log_2 0 \equiv 0)$$

Auskunft über minimale Anzahl von Bits, die zur Speicherung eines Pixels erforderlich sind, und darüber, ob mit Komprimierungstechniken eine Reduktion des Speicherbedarfs erreicht werden kann

- Homogene Bilder mit einem einzigen Grauwert:

$$H_e = -1 \cdot \log_2 1 = 0$$

- Bilder mit gleichmäßig verteilten Grauwerten, d.h. $p(k) = 1/256$:

$$H_e = - \sum_{k=0}^{255} \frac{1}{256} \cdot \log_2 \frac{1}{256} = 8$$

Jedes Pixel benötigt 1 Byte zur verlustfreien Speicherung

Globale Charakterisierung von Bildern (5)

● Entropie (Fort.)

- Binärbilder, 0/1 gleich häufig; z.B. Schachbrettmuster:

$$H_e = -0.5 \cdot \log_2 0.5 - 0.5 \cdot \log_2 0.5 = 1$$

Der minimale Speicherbedarf beträgt 1 Bit pro Pixel
(vorausgesetzt, keine zusätzlichen Informationen über das Bild)

- Binärbilder mit $p(0) = 0.75$ und $p(1) = 0.25$:

$$H_e = -0.75 \cdot \log_2 0.75 - 0.25 \cdot \log_2 0.25 = 0.82$$

Weniger als 1 Bit genügt zur verlustfreien Speicherung
(Bildkomprimierungsverfahren)

- $H_e(\text{Lenna-Bild}) = 7.28$; $H_e(\text{Werkzeug-Bild}) = 5.91$

Globale Charakterisierung von Bildern (6)

- Bildebenen: Intuitive Betrachtung des Informationsgehaltes



Nicht alle Bit $b_7b_6 \dots b_1b_0$ enthalten sinnvolle Information. Um dies herauszufinden, werden Binärbilder erzeugt, die nur die in der entsprechenden Bildebene vorkommende Information enthalten.



b_7 : Bildebene 7



b_6 : Bildebene 6



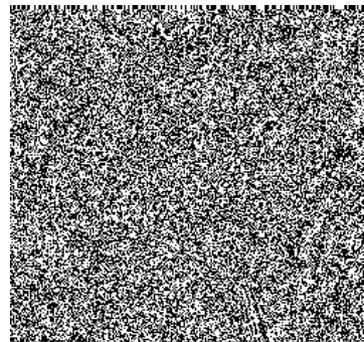
b_5 : Bildebene 5



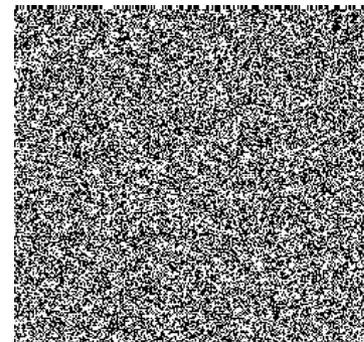
b_4 : Bildebene 4



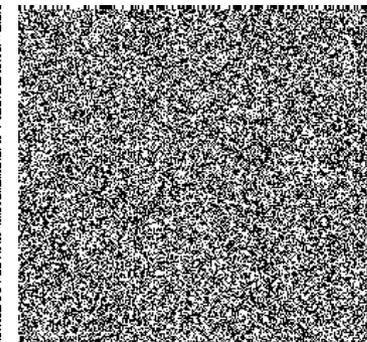
b_3 : Bildebene 3



b_2 : Bildebene 2



b_1 : Bildebene 1



b_0 : Bildebene 0

Übersicht über Bildverarbeitungsoperatoren (1)

Mögliche Einteilung der Operatoren Ω :

- Einteilung nach Zahl der Pixel, die einen verarbeiteten Bildpunkt beeinflussen

- punktbezogen:

$$g(r, c) = \Omega(f(r, c)); \quad \text{i.A. } g(r, c) = \Omega(f(u, v))$$

z.B. Negativ-Bild $g(r, c) = 255 - f(r, c)$

- lokal:

$$g(r, c) = \Omega(f(N(r, c))); \quad \text{i.A. } g(r, c) = \Omega(f(N(u, v)))$$

$N()$: Nachbarschaft

- global:

$$g(r, c) = \Omega(f)$$

Jeder bearbeitete Bildpunkt wird von allen Punkten des Eingabebildes beeinflusst, z.B. Fouriertransformation

Übersicht über Bildverarbeitungsoperatoren (2)

- Einteilung nach der Ortsabhängigkeit
 - homogen: Ω unabhängig von Bildkoordinate
z.B. Berechnung eines Negativ-Bildes: $g(r, c) = 255 - f(r, c)$.
 - inhomogen: Ω hängt von Bildkoordinate ab; kann z.B. aus der Umgebung berechnet werden. Auch adaptive Operatoren genannt.
- Einteilung nach der Linearität der Verarbeitung: linear/nichtlinear
- Einteilung nach Funktionalität