

Digitale Bildverarbeitung



eine Zusammenfassung von Markus Liebe

Inhaltsverzeichnis

1 Aufnahme	5
1.1 Bildgeber	5
1.1.1 CCD	5
1.1.2 CMOS	5
1.2 Rasterung	5
1.3 Quantisierung	5
1.4 Kodierung	5
2 Wiedergabe	7
2.1 Farbräume	7
2.2 Ausgabemedien	7
3 Vorverarbeitung	9
3.1 Bildverbesserung	9
3.1.1 Grauwertmanipulation	9
3.1.2 Lineare Skalierung	9
3.1.3 Logarithmische Skalierung	9
3.1.4 Ebenen der Grauwerte	10
3.1.5 Gammakorrektur	10
3.1.6 Bildmittelung	10
3.1.7 Korrektur inhomogener Beleuchtung	10
3.1.8 Korrektur im Farbraum	10
3.2 Filterung - Nachbarschaftsoperationen	11
3.2.1 Lineare Filter	11
3.2.2 Nichtlineare Filter	11
3.2.3 Faltung	11
3.2.4 Mittelung mit Rechteckfenster	11
3.2.5 2D-Rechteckfilter	12
3.2.6 Binomialfilter	12
3.2.7 Rangordnungsfilter	12
4 Bildanalyse	13
4.1 Kantenextraktion	13
4.1.1 Sobel Kantendetektor	14
4.2 Morphologie	14

4.2.1	Opening	14
4.2.2	Extraktion von Rändern	14
4.3	Segmentierung	15
4.3.1	pixelorientiert	15
4.3.2	Bildbasiert	15
4.3.3	Regionenbasiert	15
4.3.4	Kantenbasiert	15
5	Interpretation	17
5.1	Formanalyse	17
5.1.1	Flächenbestimmung A	17
5.1.2	Umfangbestimmung U	17
5.1.3	Rundheitsmass R	17
5.1.4	Momentenbasierte Merkmale	17
5.2	Klassifikation	18
6	Bildkompression	19
6.1	Grundlagen	19
6.1.1	Informationsgehalt	19
6.1.2	Entropie	19
6.1.3	Kodierungstheorie	19
6.1.4	Mittlere Codelänge (Bitrate) einer Symbolfolge	19
6.2	Verlustlose Kompression	19
6.2.1	Morse-Code	19
6.2.2	Entropie-Kodierung	19
6.2.3	Laufängerkodierung	20
6.2.4	Kodierung durch Differenzbildung	20
6.2.5	Tabellengesteuerte Kodierung	20
6.3	Verlustbehaftete Kompression	20
6.3.1	JPEG-Enkodierung	20
6.3.2	JPEG-Dekodierung	20

1 Aufnahme

1.1 Bildgeber

1.1.1 CCD

1.1.2 CMOS

- beleuchtete Objekte werden auf einem Sensor abgebildet
- der Sensor wandelt das Bild in elektrische Signale um
- Bilder stellen flächenhafte Verteilung einer Bestrahlungsstärke dar

1.2 Rasterung

- Bild wird gerastert
- Rasterung bestimmt die Auflösung
- Rasterung führt zu Ortsdiskretisierung des Bildes

1.3 Quantisierung

- N-kanalige Bilder pro Kanal und Rasterflächenstück wird ein Wert gespeichert.
- Durch Quantisierung wird jedem Rasterflächenstück Farbinformation zugeordnet.

1.4 Kodierung

2 Wiedergabe

2.1 Farbräume

- menschliches Farbempfinden ist nicht-linear
- Darstellung von Farben mittels Farbräumen
- additiv: RGB / YUV
- subtraktiv: CMYK

2.2 Ausgabemedien

- Displays arbeiten im additiven Farbraum
- Drucker im subtraktiven

3 Vorverarbeitung

3.1 Bildverbesserung

3.1.1 Grauwertmanipulation

Ziel der Grauwertmanipulation ist die Anpassung des Kontrasts.

3.1.2 Lineare Skalierung

Weist das Bild nur einen kleinen Grauwertbereich auf, so kann man versuchen den kleinen Grauwertebereich auf den vollen 0-255 abzubilden.

$$f(g) = \begin{cases} 0 \\ 255 \\ c_2g + c_1c_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Dabei gilt:

$$c_1 = -\text{Min} \quad (3.2)$$

und

$$c_2 = \frac{255}{(\text{Max} - \text{Min})} \quad (3.3)$$

3.1.3 Logarithmische Skalierung

Bei der logarithmischen Skalierung wird versucht einen kleinen Bereich von Grauwerten auf einen Bereich von $[0 - 255]$ abzubilden. Um eine möglichst optimale Verteilung zu finden wird eine logarithmische Skala verwendet. Es gilt:

$$a = \frac{c_2 - c_1}{\text{Max} - \text{Min}} \quad (3.4)$$

und

$$b = \frac{c_1 * \text{Max} - c_2 * \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \quad (3.5)$$

Obige Gleichungen sind einzusetzen in

$$f(g) = 255 * \frac{\log(a * g + b) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \quad (3.6)$$

3.1.4 Ebenen der Grauwerte

Vorgehen:

- Bestimmen der relativen Häufigkeit eines jeden $p(g)$ eines jeden Grauwerts
- Histogrammwerte auf Anzahl der Pixel beziehen $\rightarrow p(g)$
- Bestimmen der Verteilungsfunktion $h(g)$

$$h(g) = \sum_{k=0}^g p(k), g = 0, \dots, 255 \quad (3.7)$$

- Grauwertzuordnung

$$f(g) = 255 * h(g) \quad (3.8)$$

Zusammenfassung:

- Kontrastanhebung in hellen und dunklen Bereichen
- Kontrast bleibt gleich im mittleren Helligkeitsbereich
- generiert Rauschen in helleren Bereichen

3.1.5 Gammakorrektur

$$f(g) = \frac{255}{255^\gamma} g^\gamma \quad (3.9)$$

- Grosse Veränderung im mittleren Bereich
- Nicht so viele Überstrahlungseffekte.

3.1.6 Bildmittelung

- Ziel: Reduktion des Rauschens des Sensors
- pixelweises Berechnen des Mittelwerts über mehrere Bilder

3.1.7 Korrektur inhomogener Beleuchtung

3.1.8 Korrektur im Farbraum

soviel ich weiss nicht relevant für Klausur (keine Garantie!)

3.2 Filterung

3.2.1 Lineare Filter

Mittelwert Operator

- einfache Mittelungsfiler schwächen feinere Strukturen nicht unbedingt stärker ab als größere
- Binomialfilter für höhere Ansprüche
- lineare Filter unterdrücken Impulsrauschen nur schlecht. → Bilder werden unscharf und Fehler durch Impulsrauschen verteilt
- lineare Filter unterdrücken Rauschen wirksam, jedoch Impulsrauschen schlecht, da sie davon ausgehen, dass jeder Punkt brauchbare Informationen trägt.
- läuft Glättungsmaske über Objektkante, enthält sie Bildpunkte von Objekt und Hintergrund → verwischt Merkmal

3.2.2 Nichtlineare Filter

Rangordnungsfilter

- keine arithmetischen Funktionen → keine Rundungsprobleme
- geeignet zur Unterdrückung von Impulsrauschen und Binärrauschen

3.2.3 Faltung

$$s_a(x, y) = \sum_{u=-r}^r \sum_{v=-r}^r h(u, v) * s_e(x - u, y - v) \tag{3.10}$$

3.2.4 Mittelung mit Rechteckfenster

- Summe aller Bildpunkte durch Anzahl der Pixel dividieren

Filtermaske:

$$H_1 = \frac{1}{3} * [1 \ 1 \ 1]$$

Vertikale Kante:

$$\begin{array}{cccccccc}
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & \dots & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & * \frac{1}{3} * [1 & 1 & 1] = & \dots & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & & \dots & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{array} \tag{3.11}$$

aus scharfer Kante wird rampenartiger Übergang

3.2.5 2D-Rechteckfilter

$${}^R H = \frac{1}{R^2} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

3.2.6 Binomialfilter

der normale Binomialfilter ist für eine Dimension. Multipliziert man zwei 1D Binomialfilter je einer Dimension miteinander, so ergibt sich daraus ein 2D Binomialfilter:

$$B^P = B_x^P * B_y^P \quad (3.13)$$

$$B^2 = \frac{1}{4} [1 \quad 2 \quad 1] * \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

3.2.7 RangordnungsfILTER

- Grauwerte innerhalb einer Maske werden nach ihrer Grösse sortiert.
- dann wird der mittlere Wert, der Median selektiert.
- erzeugt homogene Fläche

4 Bildanalyse

4.1 Kantenextraktion

Es ist eine Operation gesucht, die

- Nachbarschaftsveränderungen
- Bereiche konstanter Grauwerte unterdrückt → basiert auf Ableitung
- Ableitung erfolgt mit Hilfe des Gradientenvektors

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\delta f}{\delta x} & \frac{\delta f}{\delta y} \end{bmatrix}^T \quad (4.1)$$

- der Gradientenvektor zeigt in die Richtung des steilsten Anstiegs
- In Bezug auf die erste Ableitung ist Kante Extremwert
- Berechnung partieller Ableitungen 1. Ordnung in alle Richtungen (2D: in x- und y- Richtung) mittels Operators

$$D = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Der Gradientenbetrag berechnet sich

$$|D| = [D_x \bullet D_x + D_y \bullet D_y]^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

Daraus entstehen folgende Filtermasken: rückwärts

$$^-D_x = [1. \quad -1] \quad (4.4)$$

vorwärts

$$^+D_x = [1 \quad -1.] \quad (4.5)$$

symmetrisch

$$D_{2x} = \frac{1}{2} [1 \quad 0 \quad -1] \quad (4.6)$$

$$\begin{array}{cccccc}
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots \\
 \vdots & \vdots
 \end{array}
 * \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} =
 \begin{array}{cccccc}
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \dots & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \dots \\
 \dots & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \dots \\
 \vdots & \vdots
 \end{array}
 \quad (4.7)$$

4.1.1 Sobel Kantendetektor

Sobel in X-Richtung

$$D_{2x} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Sobel in Y-Richtung

$$D_{2y} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

- Kanten stellen Inhomogenitäten dar. → Kanten werden mit Differenzfiltern berechnet.
- Probleme bei einfachen Nachbarschaften (Mustern)

4.2 Morphologie

Analyse der Gestalt eines Objektes anhand des Binärbildes.

- Dilatation (Erweiterung)
- Erosion (Verkleinerung)

4.2.1 Opening

- Zunächst Erosion
- dann Dilatation
- → sibt kleine Objekte aus, vermeidet Größenreduktion

4.2.2 Extraktion von Rändern

Differenz zwischen Originalbild und Erosionsbild.

4.3 Segmentierung

4.3.1 pixelorientiert

Anhand eines Schwellwertes wird entschieden, ob ein Pixel zum Objekt gehört oder nicht:

$$f(g) = \begin{cases} 0 & , \text{für } g = s(x, y) < t \\ Q - 1 & , \text{für } g = s(x, y) \geq t \end{cases} \quad (4.10)$$

- g Grauwert des Pixels
- Q Anzahl der Graustufen
- t Schwellwert

Der Schwellwert kann nach unterschiedlichen Kriterien gewählt werden.

- t=Minimum zwischen zwei Maxima
- t=mittlerer Grauwert in S
- t=interaktiv festgelegter Wert

Das Verfahren versagt sobald der Hintergrund nicht mehr homogen ist. Versagt ebenfalls, wenn Objekte mit unterschiedlichen Grauwerten vorhanden sind (führt zur Grössenvariation)

4.3.2 Bildbasiert

- Segmentierung nach *Homogenität* (regionenbasiert)
- Segmentierung nach *Inhomogenität* (kantenbasiert)

4.3.3 Regionenbasiert

- Ganzes Bild 1 Segment
- Segment wird solange in 4 weitere Segmente zerlegt, bis es Homogenitätskriterium erfüllt
- benachbarte Segmente werden zusammengefasst, wenn sie das Homogenitätskriterium erfüllen.

→ vollständige, überdeckungsfreie Segmentierung

4.3.4 Kantenbasiert

- erkennen Kanten und versuchen ihnen zu folgen
- Position einer Kante basiert auf Maximalwert der Ableitung → vermeiden die Fehler pixelorientierter Verfahren bei Grössensegmentierung

Segmentierung nach Inhomogenitäten am Rand eines Segments (kantenbasiert)

5 Interpretation

5.1 Formanalyse

5.1.1 Flächenbestimmung A

Zählen der Pixel, die zum Objekt gehören:

$$A = \sum_{x,y} s_e(x, y) = 39 \quad (5.1)$$

5.1.2 Umfangbestimmung U

Zählen der Pixel, die zum Rand gehören (Randextraktion)

$$U = \sum_{x,y} s_e(x, y) = 24 \quad (5.2)$$

Richtungsketten

- Start an einem Randpunkt
- folgen dem Rand gegen Uhrzeigersinn entsprechend der möglichen Richtungen

5.1.3 Rundheitsmass R

$$R = \frac{U^2}{A} \quad (5.3)$$

5.1.4 Momentenbasierte Merkmale

- Berechnung zentraler Momente um einen Schwerpunkt.
- durch Berechnung der Hauptträgheitsachsen kann der Rotationswinkel des Objektes bestimmt werden.

können

- translationsinvariant
- grösseninvariant

- rotationsinvariant

berechnet werden.

5.2 Klassifikation

siehe altes Semester

6 Bildkompression

6.1 Grundlagen

6.1.1 Informationsgehalt

$$\mathfrak{S}(s_i) = \text{ld}\left(\frac{1}{p_i}\right) [\text{bit}] \quad (6.1)$$

6.1.2 Entropie

Mittlerer Informationsgehalt von K statisch unabhängigen Symbolen

$$H = \sum_{i=1}^K p_i \text{ld}\left(\frac{1}{p_i}\right) = - \sum_{i=1}^K p_i \text{ld}(p_i) \quad (6.2)$$

Bit/Symbol

6.1.3 Kodierungstheorie

6.1.4 Mittlere Codelänge (Bitrate) einer Symbolfolge

$$\vec{I} = \sum_{i=1}^K p_i [\text{Bits/Symbol}] \quad (6.3)$$

6.2 Verlustlose Kompression

6.2.1 Morse-Code

- Symbole mit hoher Auftretenswahrscheinlichkeit erhalten kurze Codewörter, und umgekehrt.
- Problem: Trennung der Zeichen, da Kodierung nicht eindeutig

6.2.2 Entropie-Kodierung

Shannon-Fano Kodierung

Die Shannon-Fano Kodierung ist eindeutig. Es gibt keine Präfixcodes: Kein Codewort ist Präfix eines anderen Codewortes.

Huffman Kodierung

Huffman-Kodierung garantiert optimalen Präfixcode.

6.2.3 Lauflängenkodierung

Ausnutzung von Wiederholungen: Aus 255 255 255 255 255 255 wird ! 255 6.

6.2.4 Kodierung durch Differenzbildung

Es wird ein Offset gesetzt und ausgehend davon die Differenz gespeichert. Addiert man die Differenz zum Offset erhält man den ursprünglichen Wert.

Es wird wenig komprimiert und zum Teil sogar verlustbehaftet.

6.2.5 Tabellengesteuerte Kodierung

- Kodierung von Phrasen mittels Token
- Token kürzer als Phrasen ⇒ führt zu Kompression
- statische und adaptive Verfahren

6.3 Verlustbehaftete Kompression

6.3.1 JPEG-Enkodierung

- Originalbild wird mittels Discrete Cosine Transformation transformiert.
- Ergebnis wird quantisiert (Luminanz Quantisierung)
- es entstehen quantisierte DCT Koeffizienten

6.3.2 JPEG-Dekodierung

- quantisierte DCT Koeffizienten werden mit der Luminanz Quantisierungs Matrix zu den rekonstruierten DCT Koeffizienten überführt.
- auf den rekonstruierten DCT Koeffizienten wird die inverse DCT durchgeführt.
- rekonstruiertes Bild ist entstanden