



Klassifikation/Mustererkennung

Fachhochschule Jena
Studiengang Kommunikations & Medientechnik
Prof. Dr. Ansorg



Motivation

- Bildbearbeitung-Bildverarbeitung
- Klassifikationsschritte:
 - Segmentierung,
 - Merkmalsextraktion,
 - Merkmalsraum,
 - Klassifikation
- Merkmalsgüte
- Klassifikationsverfahren:
 - Hyperebenen-, Hyperquader-Klassifikator,
 - Hauptebenenentransformation
 - Minimal-Distanz
 - Maximum Likelihood
- Praktische Anwendung



Vorbemerkungen

Bisher:

Bildbearbeitung

Ziel: Bildverbesserung, Variation (Geometrie, Farbtiefe..)

Punkt-, Lokale-, Morphologische-, Globale Operatoren, LSI-Filter, Nichtlin. Filter....

Grundprinzip: Bild(original) → Bild' (verändertes, ikonisches Bild)

Jetzt:

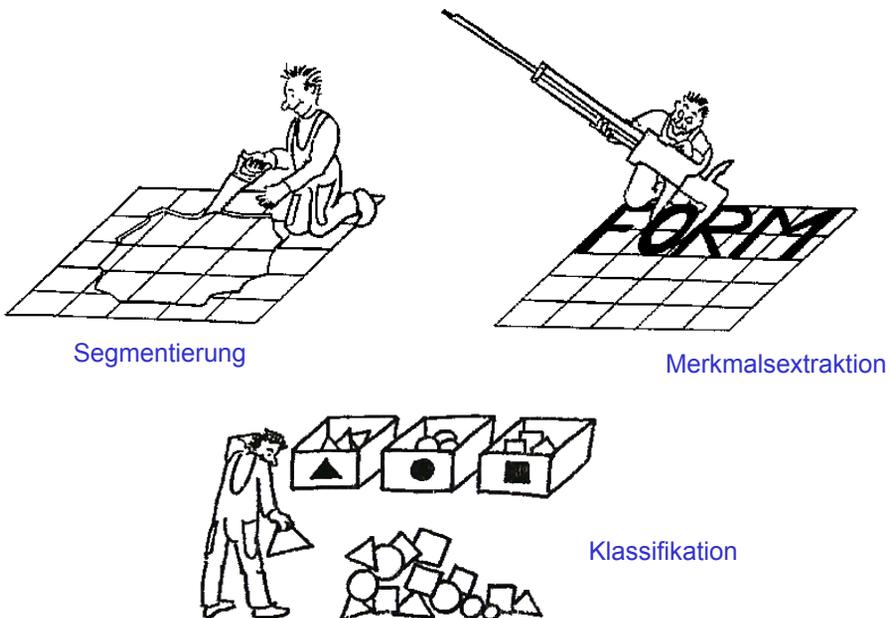
Bildanalyse, Bildverarbeitung

Ziel: Mustererkennung, Bilderkennung, Datenreduktion...

Grundprinzip: Bild(original) → Datensatz

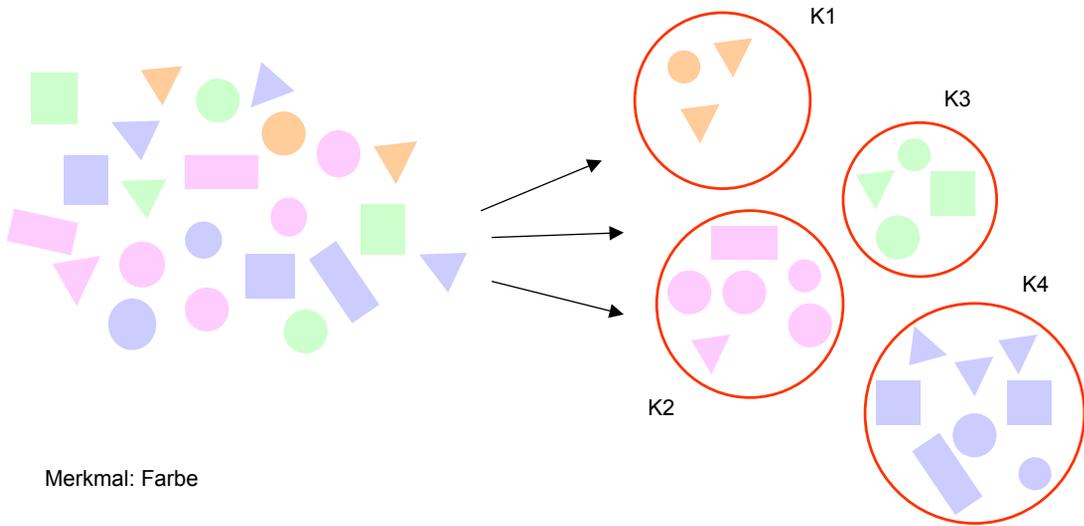


Klassifikation/Mustererkennung





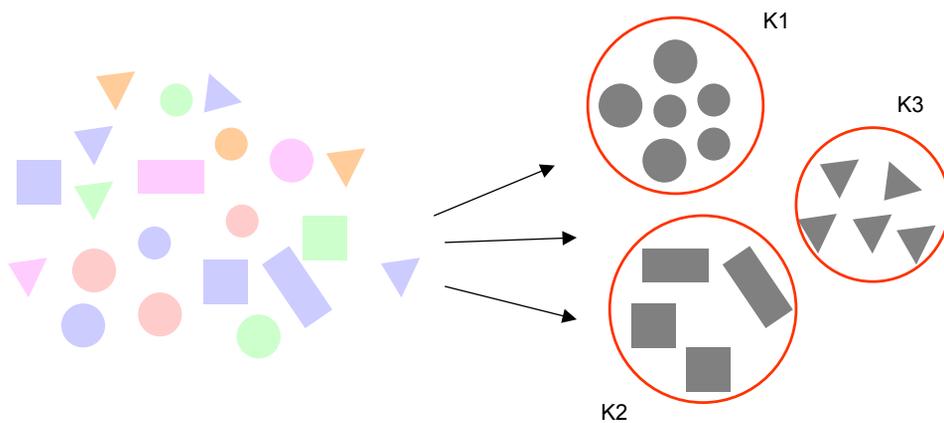
Merkmalsextraktion/Klassifikation



Merkmal: Farbe



Merkmalsextraktion/Klassifikation



Merkmal: Form



1.Einführung

Aufgabe: Objekte eines Bildes → bestimmten Klassen zuordnen
Ziel: Bilderkennung, Bildanalyse, Bildverarbeitung... Bild → Datensatz

Vorraussetzung:

1. **Objektsegmentierung**
 (Trennung von Objekt und Untergrund)
 Verfahren: -Schwellwertverfahren
 -Konturverfolgung
 -Zeilenkoinzidenzverfahren (ZEIKO-Verfahren)
 -Labeling

2. Merkmalsextraktion

Definition: Objektmerkmal:

Objekteigenschaft, die das **Wesentliche** eines Objektes beschreibt und sich **quantitativ** erfassen lässt.
 (z. B. Fläche, Farbe, Form, Polarer Abstand, Textur
 Strukturelle Beschreibung, Euler Zahl...)

3. **Forderung an Objektmerkmale**
 signifikant, unkorreliert



Merkmale

Formfaktor:

$$V_{U2F} = \frac{U^2}{4\pi F}$$

Verhältnis von Umfangsquadrat zur Fläche
 ist beim Kreis = 1, größer bei zerklüfteten Objekten
 wird manchmal auch Kompaktheit genannt

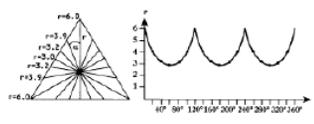


kompakt

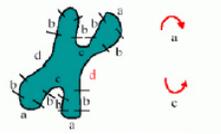


nicht kompakt

Polarer Abstand:
 Abstand des Bereichsrandes vom Schwerpunkt.
 Darstellung als Kurve: aussagekräftig für die Form



Strukturelle Beschreibung:



Polygone 2. Ordnung

d,b,a,b,c,b,a,b,d,b,a,b,c,b,a,b
 Chromosomenbeschreibung

Die Eulerzahl E

Topologischer Deskriptor: $E = N_Z - N_L$
 N_Z : Anzahl der zusammenhängenden Komponenten
 N_L : Anzahl der Löcher

Beispiele:



a) „Schweizer Käse“ $E = 1 - 3 = -2$



b) $E = 3 - 0 = 3$



c) $E = 1 - 1 = 0$



d) $E = 1 - 2 = -1$

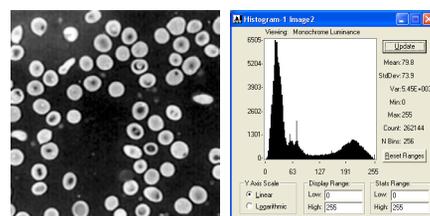
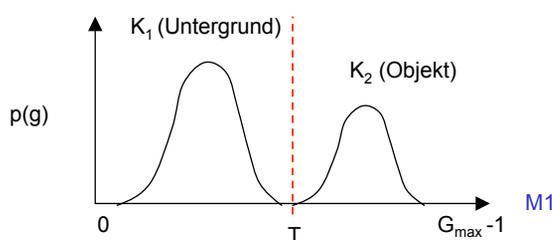


2. Klassifikationsschritte

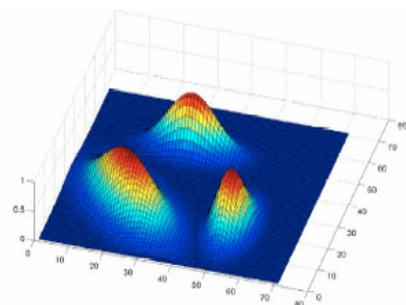
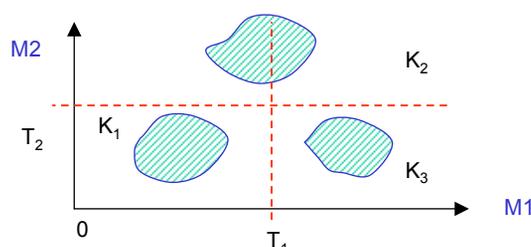
1. **Merkmalsextraktion:** → von einem Objekt wird ein Satz von n -Merkmalen ermittelt (Fläche, Form, Farbe, Textur...)
2. **Merkmalsraum:** → Eintragen der Merkmale in n -dimensionalen Merkmalsraum
Beachte: n -Merkmale spannen n -dim. Merkmalsraum auf.
3. **Merkmalsvektor:** → Von jedem Objekt gibt es einen Merkmalsvektor
4. **Merkmalscluster:** → Anhäufung von Objektmerkmalen im Merkmalsraum
→ nennt man „Cluster“
5. **Klassifikation:** → wenn sich die Cluster nicht überlappen,
→ ist eine fehlerfreie Klassifikation möglich.
(andernfalls ist es das Ziel, die Klassifikationsfehler zu minimieren, z. B. Bayes-Klassifikator)



Beispiele:



1 Merkmal → 1D-Merkmalsraum



2 Merkmale → 2D-Merkmalsraum!



3. Merkmalsauswahl

- Feststellung: n-Merkmale \rightarrow n-dim. Merkmalsraum
- Forderung: aus m - möglichen Merkmalen
n - relevante Merkmale auswählen

- Ziel:
 - Dimensionalität des Merkmalsraumes \downarrow
 - Merkmalsanzahl \downarrow
 - Relevanz des Merkmals \uparrow
 - Bedingung: Unkorreliertheit der Merkmale

- hohe Merkmalsrelevanz \rightarrow hohe Merkmalsgüte

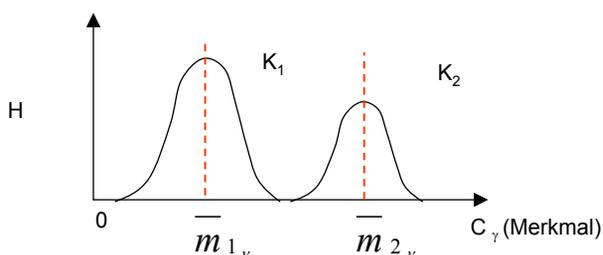


4. Merkmalsgüte

- Merkmalsgüte entscheidend für Klassifikationsgüte
- Gesucht ist eine Maßzahl für die Merkmalsgüte
- Beispiel:
Gegeben sind zwei Klassen K_1 und K_2 die das Merkmal C_v (Merkmalsindex) besitzen.
Die Klassen besitzen

- den klassenbedingten Mittelwert $\bar{m}_{k v}$

- die klassenbedingte Varianz $\sigma^2_{k v}$



Intuitiv einleuchtend:

- Gute Klassentrennung, wenn:
- große Differenz der Mittelwerte
 - kleine Streuungen



Gütemaß

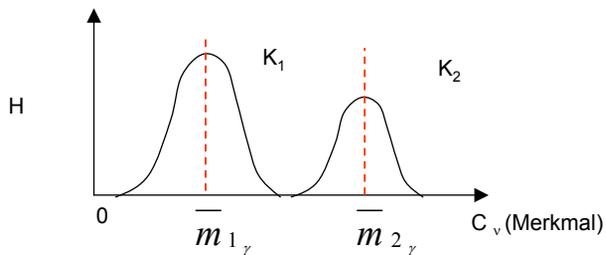
- Definition:

$$G_v = \frac{\left[\bar{m}_{1v} - \bar{m}_{2v} \right]^2}{\sigma_{1v}^2 + \sigma_{2v}^2}$$

mit

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \quad \text{Mittelwert}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{m})^2 \quad \text{Varianz}$$



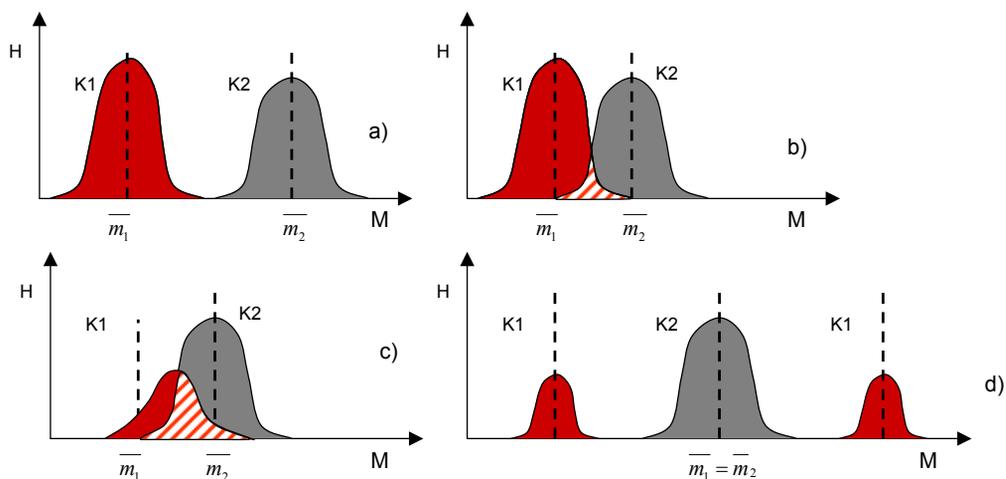
Ziel:

$\bar{m}_{1v} - \bar{m}_{2v}$ (Differenzen der Mittelwerte) \Rightarrow Max

$\sigma_{1v}^2 + \sigma_{2v}^2$ (Summe der Varianzen) \Rightarrow Min



Beispiele:



Fälle für Klassentrennung:

- a) eindeutige Trennung
- b) c) bedingt trennbar (z. B. Bayes)
- d) nicht trennbar mit Abstandsmaß



Aufgabe

- Berechnen Sie die Merkmalsgüte G_v für 2 Klassenverteilungen. Unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen B_1 und B_2 wurden folgende Klassenverteilungen mit den Mittelwerten m und Standardabweichungen σ erzielt:

$$B_1 : \quad \bar{m}_{1v} = 45 \quad \bar{m}_{2v} = 95 \quad G(B_1) = ?$$

$$\sigma_{1v} = 6,32 \quad \sigma_{2v} = 4,82$$

$$B_2 : \quad \bar{m}_{1v} = 35 \quad \bar{m}_{2v} = 105 \quad G(B_2) = ?$$

$$\sigma_{1v} = 4,5 \quad \sigma_{2v} = 4$$

- Mit welcher Beleuchtung erzielt man die beste Klassengüte?



Lösung:

- Beleuchtung 2 erzielt die beste Klassengüte.

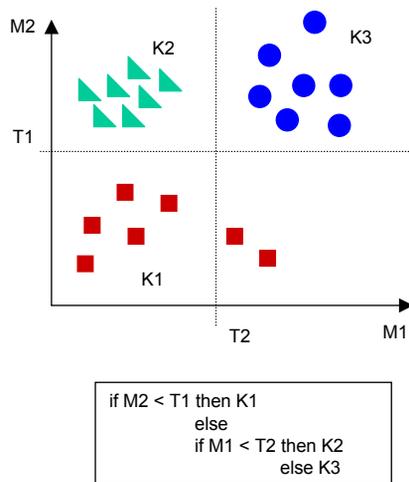
$$B_1 = \frac{(45-95)^2}{6,32^2 + 4,82^2} = \frac{2500}{39,9 + 23,2} = 39,6$$

$$B_2 = \frac{(35-105)^2}{4,5^2 + 4^2} = \frac{4900}{20,25 + 16} = \underline{\underline{135,17}}$$



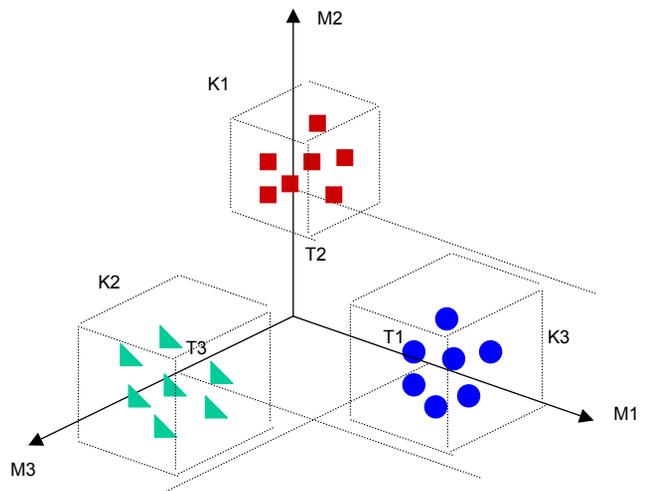
5. Klassifikationsverfahren

a) HyperebenenKlassifikator



b) HyperquaderKlassifikator

3D-Merkmalraum
Cluster werden durch Quader approximiert



01.03.2007

Prof. Dr. Ansorg

17



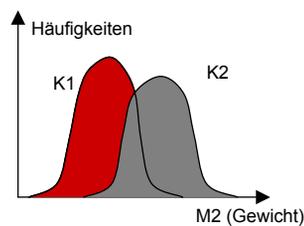
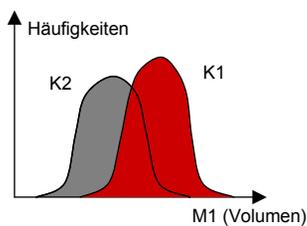
5. Klassifikationsverfahren

c) Hauptachsentransformation

Aufgabe: Eine Erntemaschine soll Kartoffeln und Steine voneinander trennen.

Mit dem Merkmal Form ist kein Unterschied in Klassen möglich.

Betrachtet man die Merkmale: M1 (Volumen) und M2 (Gewicht) so bekommt man zu folgenden Verteilungen:



Man kann erkennen, dass sich diese Objekte auch in diesen Parametern nicht eindeutig unterscheiden. Betrachtet man jedoch Volumen und Gewicht gemeinsam in einem 2D-Histogramm:

Volumen (M1) → X-Achse,
Gewicht (M2) → Y-Achse → erhält man folgende Cluster:

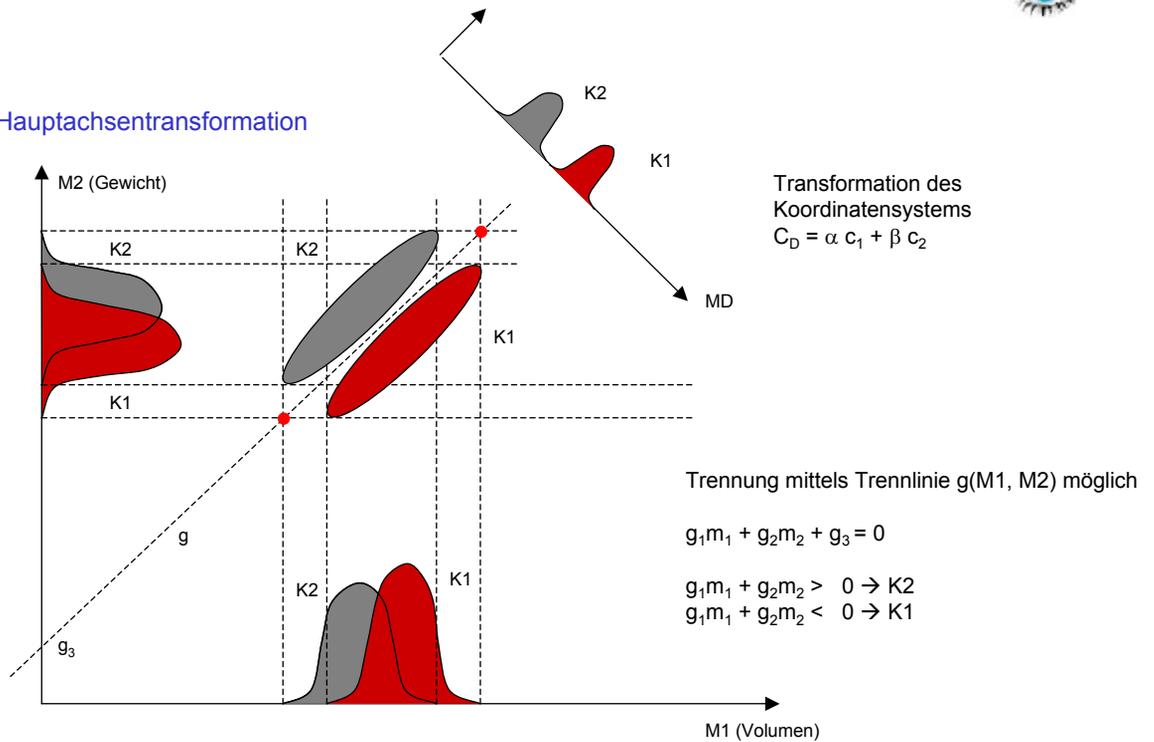
01.03.2007

Prof. Dr. Ansorg

18



Hauptachsentransformation



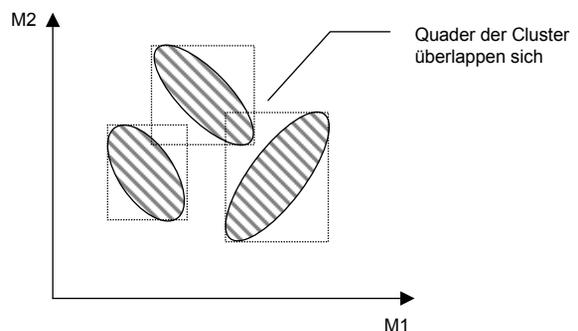
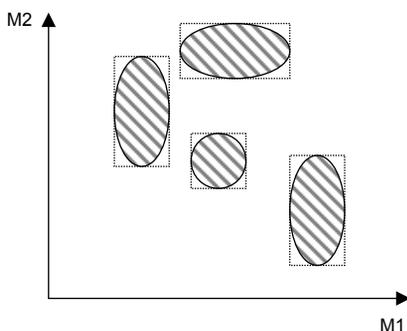
5. Klassifikationsverfahren

d) Minimum-Distanz-Klassifikator

Hyperbenen-, und Hyperquader-Klassifik. eignen sich, wenn die Merkmale orthogonal (unkorreliert) sind.

Wenn sich die Quader überlappen

- Minimum-Distanz-Klassifikator:
- Bestimmung des Abstandes des Merkmalsvektors vom Flächenschwerpunkt der Klassen



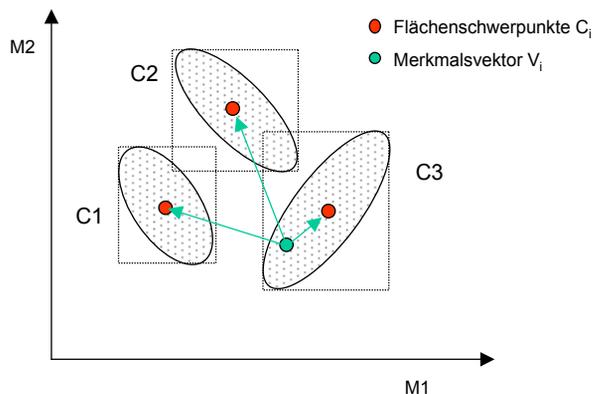


5. Klassifikationsverfahren

d) Minimum-Distanz-Klassifikator

Vorgehensweise:

1. Bestimmung Flächenschwerpunkt $C_i (M_1, M_2)$ aller Cluster.
2. Bestimmung Abstand des akt. Merkmalsvektors $V_j (M_1, M_2)$ zu allen Flächenschwerpunkten.
3. Min. Abstand entspricht der Klassenzugehörigkeit.



Als Abstandmaß gilt der Euklidische Abstand

$$d_e = \sqrt{(M_{1C_i} - M_{1V_j})^2 + (M_{2C_i} - M_{2V_j})^2}$$

Merkmal 1 (x-Koord. Flächenschwerp.) Cluster i Merkmal2 (y-Koord. Flächenschwerp.) Cluster i Merkmal2 (y-Koord.) Vektor

Voraussetzung: Merkmale besitzen Normalverteilungen



Minimum-Distanz-Klassifikator

Aufgabe: In einem 2D-Merkmalraum (d.h. 2 Merkmale) werden 3 Cluster festgestellt mit folgenden Klassen-Flächenschwerpunkten:

$$C1: \quad M_{1C_1} = 52 \quad M_{2C_1} = 60$$

$$C2: \quad M_{1C_2} = 28 \quad M_{2C_2} = 38$$

$$C3: \quad M_{1C_3} = 68 \quad M_{2C_3} = 34$$

Neuer Merkmalsvektor: $M_{1V_1} = 58 \quad M_{2V_1} = 25$

Frage: Zu welchem Cluster (Klasse) gehört V_j ?



Lösung:

$$d_{e_1} = \sqrt{(52-58)^2 + (60-25)^2} = \sqrt{36+1225} = 35,5$$

$$d_{e_2} = \sqrt{(28-58)^2 + (38-25)^2} = \sqrt{900+169} = 32,7$$

$$d_{e_3} = \sqrt{(68-58)^2 + (34-25)^2} = \sqrt{100+81} = \underline{\underline{13,45}}$$

$d_{e_3} \rightarrow$ Minimum \Rightarrow Vektor V_j gehört zur Klasse 3



5. Klassifikationsverfahren

e) Klassifikation mittels LUT (Look Up Table)

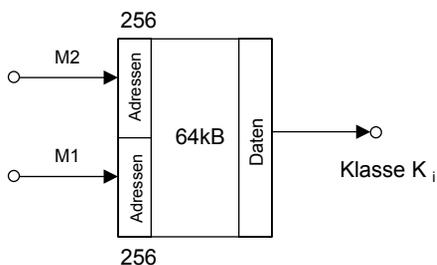
\rightarrow Methode: Überwachtes Lernen

Einfache, schnelle Methode, aber rechen- u. speicherintensiv.

LUT \rightarrow schneller Speicher

2 Merkmale mit Wertebereich 8 Bit

\rightarrow 16 Bit = 64kByte Speicher



Vorgehensweise:

A: Lernphase: (überwachtes Lernen)

- 1) LUT löschen
- 2) Für Stichprobe werden allen Merkmalsvektoren V_j eine Klassennummer zugeordnet und in die LUT geschrieben
- 3) Nachbearbeitung der Cluster mit Morpholog. Operatoren (Closing)
- 4) Konvexe Hülle berechnen

B: Arbeitsphase:

Neuer Merkmalsvektor V_j liegt an der LUT an

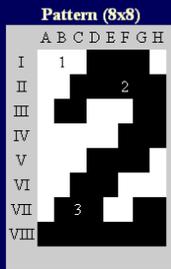
M1, M2 \rightarrow Adresse LUT

\rightarrow Datenltg. geben Klasse K_i aus



Datensatz																					
Muster	1	1	1	...	2	2	2	...	3	3	...	4	...	5	...	9	9	...	0	0	0
Bedeutung	"1"	"1"	"1"	...	"2"	"2"	"2"	...	"3"	"3"	...	"4"	...	"5"	...	"9"	"9"	...	"0"	"0"	"0"
Klasse (Nr)	1	1	1	...	2	2	2	...	3	3	...	4	...	5	...	9	9	...	10	10	10

Klassifikation mit einem Look-Up-Table



LUT 1 - Eingangs-Pattern

LUT-Eingangsdimension: 1 2 3

Pixel-Koordinaten: B-I F-II C-VII

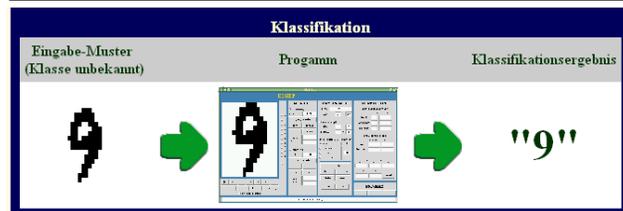
Aktueller Wert: 0 1 1

LUT 1

Eingangs-Pattern

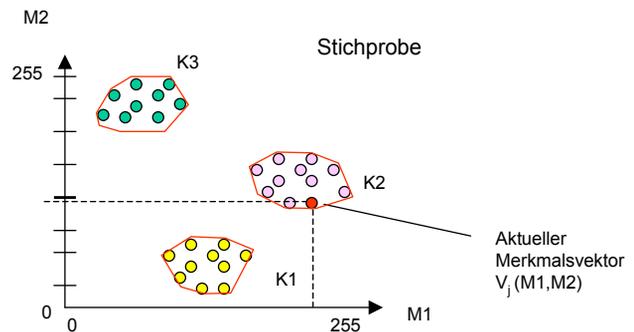
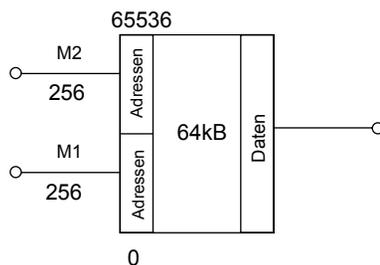
	000	001	010	011	100	101	110	111	Summe
1				0					N1
2				2					N2
3				3					N3
...			
K				0					NK
Anzahl (Summe)	S000	S001	S010	S011	S100	S101	S110	S111	N

(S001=0+2+3+...+0)

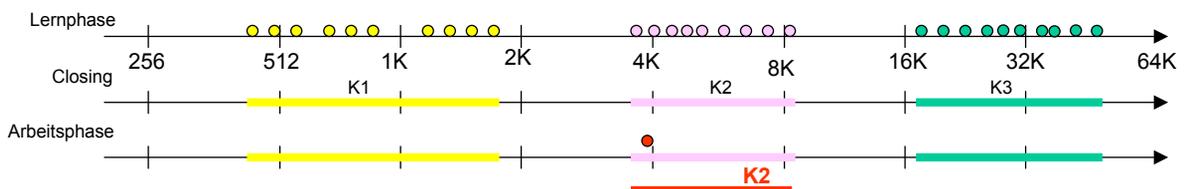


5. Klassifikationsverfahren

e) Klassifikation mittels LUT



Adressraum: 0000...FFFF





5. Klassifikationsverfahren

f) Maximum Likelihood - Klassifikator

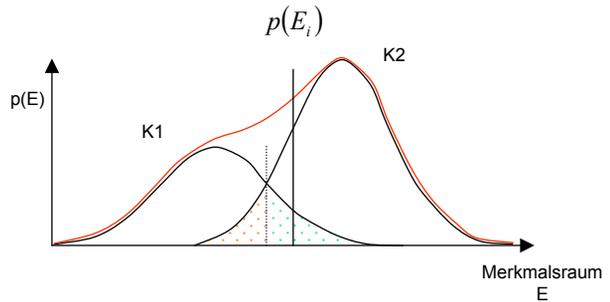
(nach Thomas Bayes → Bayes-Klassifikator), → Statist. Klassifikator

Allgemein gilt:

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Ereignisses E_i unter der Voraussetzung, dass das Ereignis E bereits eingetreten ist beträgt (nach Bayes):

$$p(E_i / E) = \frac{p(E_i) \cdot p(E / E_i)}{\sum_{j=1}^k p(E_j) \cdot p(E / E_j)}$$

- $p(E_i)$ a - priori - W.
- $p(E / E_i)$ bedingte W.
- $p(E_i) \cdot p(E / E_i)$ Verbund - W.
- $\sum_{j=1}^k p(E_j) \cdot p(E / E_j)$ Totale W.



Das Ereignis E (Merkmalsvektor) wird nun der Klasse „i“ zugeordnet, für die o.g. Ausdruck maximal ist

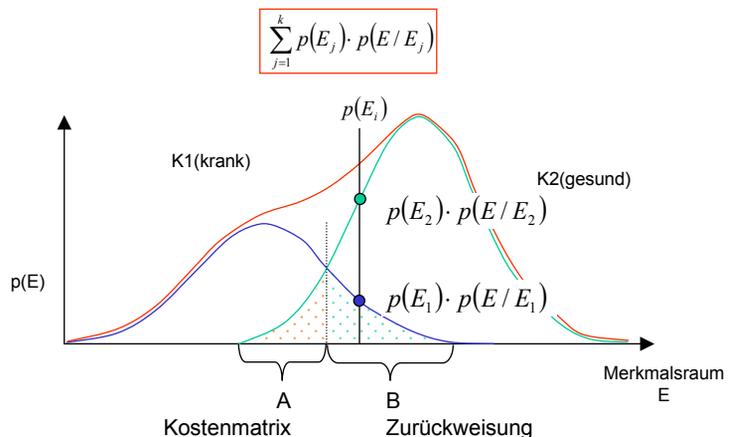


5. Klassifikationsverfahren

f) Bayes-Klassifikator

$$p(E_i / E) = \frac{p(E_i) \cdot p(E / E_i)}{\sum_{j=1}^k p(E_j) \cdot p(E / E_j)}$$

- $p(E_i)$ a - priori - W.
- $p(E / E_i)$ bedingte W.
- $p(E_i) \cdot p(E / E_i)$ Verbund - W.
- $\sum_{j=1}^k p(E_j) \cdot p(E / E_j)$ Totale W.



Problemfälle

Bereich A: K2(gesund) wird aber K1(krank) zugeordnet → Kosten

Bereich B: K1(krank) wird K2(gesund) zugeordnet → Zurückweisung

Beispiel:

Die Auftrittswahrscheinlichkeit $p(E_i)$ unter der Annahme der Klasse 2 ist größer als unter der Annahme von Klasse 1



Wahrscheinlichkeitsrechnung

Elementare Wahrscheinlichkeit (a-priori-W.)

$$p(E)=g/m$$

1. Die W., bei einem Wurf eine 4 zu würfeln ist:
 $p(4)=g/m= 1/6$
2. Die W., bei einem Kartenspiel einen König zu ziehen ist:
 $p(\text{König})=4/32=1/8 =0,125$

Additionssatz der Wahrscheinlichkeit

„Entweder-Oder“→OR

$$p=p(E1) +p(E2)...+p(Ek)$$

3. Die W. eine 3 oder eine 6 zu Würfeln ist:
 $p=1/6+1/6=1/3$

Bedingte Wahrscheinlichkeit

Die W. des Ereignisses E2 unter der Bedingung, dass E1 schon eingetreten ist.

$$p(E2/E1)$$

4. Nachdem die 1. gezogene Karte ein König war, gibt die bedingte W. $p(\text{König2/König1})$ die W. an, wieder einen König zu ziehen.
 $p(\text{König2/König1}) =g/m=3/31$

Verbundwahrscheinlichkeit

Multiplikationssatz der Wahrsch. „Sowohl als auch“→AND

$$p=p(E1)*p(E2)$$

5. Man zieht aus einem Kartenspiel 2 Karten, wie groß ist die W. 2 Könige zu ziehen?

1. Zug: $p(\text{König1})= 4/32 =1/8 = 0,125$

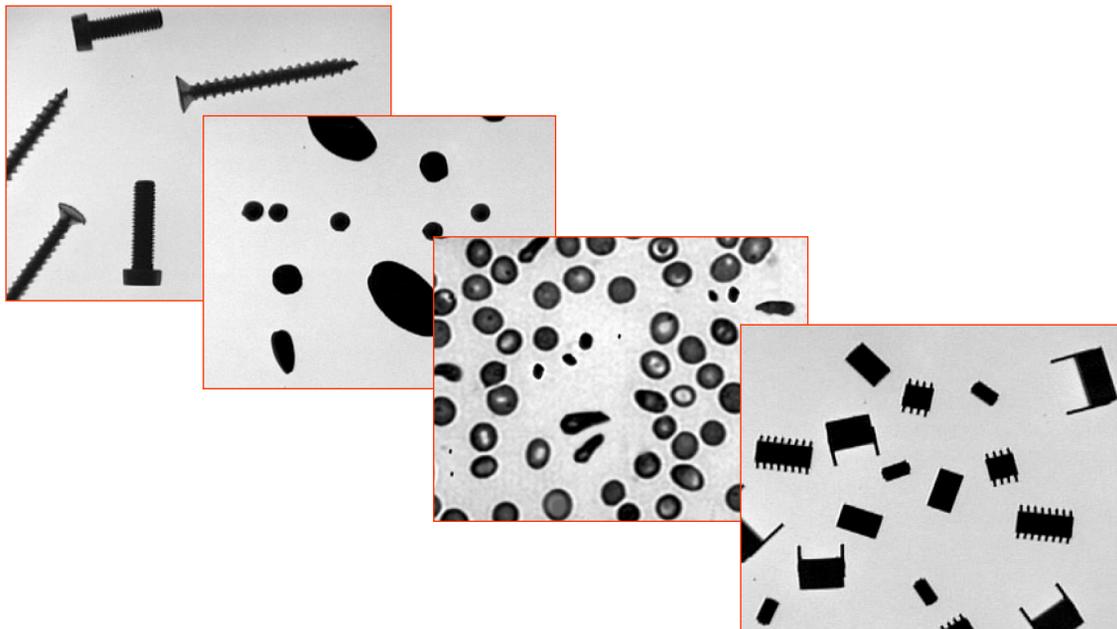
2. Zug: $p(\text{König2})= 3/31= 0,096$

1. und 2. Zug $p(\text{König})$:

$$p(\text{König2/König1})=1/8*3/31= 0,012$$

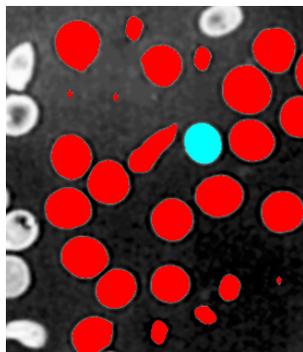


Anwendungen Mustererkennung





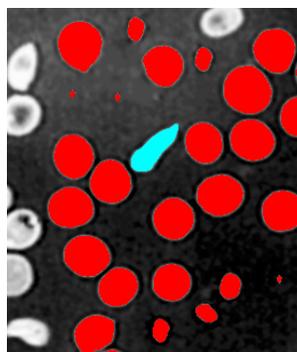
Anwendung



Number of Areas: 70	
Highlighted Area:	21
Area:	2.83
Perimeter:	6.28
X Position:	10.11
Y Position:	20.93
Circularity:	13.90
Longest Axis:	2.05
Width:	1.83
Mean Gray:	197.003
Std. Dev. Gray:	25.7621
Var. of Gray:	663.687

Blutbild: Bildobjekt 21

Merkmalssatz 21



Number of Areas: 70	
Highlighted Area:	22
Area:	2.51
Perimeter:	7.50
X Position:	7.60
Y Position:	20.66
Circularity:	22.43
Longest Axis:	3.18
Width:	1.17
Mean Gray:	221.494
Std. Dev. Gray:	33.1471
Var. of Gray:	1098.73

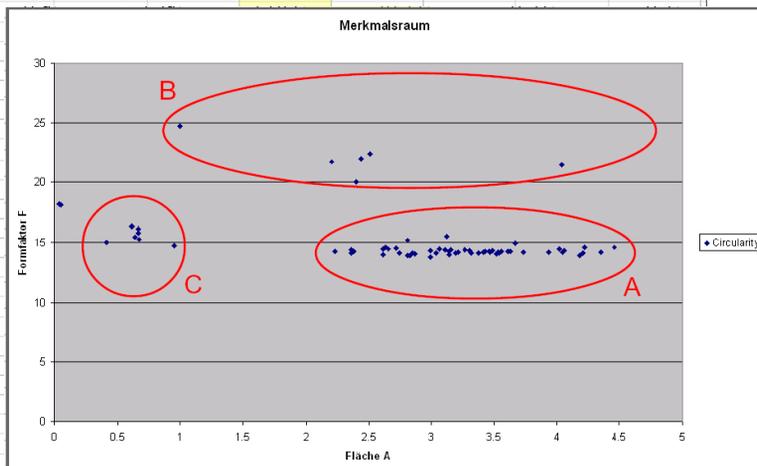
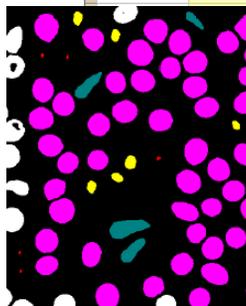
Blutbild: Bildobjekt 22

Merkmalssatz 22

Digitale Bildverarbeitung



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Count	Area	Perimeter	X - Position	Y - Position	Circularity	Longest Axis	Width	Mean Gray	Std. Dev. Gra
70	0,87	3,19	8,62	26,73	15,3	1,16	0,83	255	0
	1	4,96	17,23	26,53	24,71	2,1	0,7	251,55	29,48
	4,46	8,07	22,22	25,94	14,6	2,59	2,36	255	0
	4,02	7,81	3,78	25,89	14,44	2,52	2,2	245,69	47,84
	2,63	6,19	24,58	25,87	14,57	2,14	1,65	255	0
	3,43	6,99	13,73	25,64	14,25	2,25	2,09	249,68	36,45
	2,99	6,56	8,03	24,87	14,35	2,07	1,9	255	0
	0,64	3,15	10,08	25,2	15,5	1,12	0,84	255	0
	3,53	7,07	15,85	24,58	14,17	2,29	2,07	230,14	75,67
	3,04	6,54	20,23	24,6	14,09	2,05	2	255	0
	2,72								
	4,35								
	3,54								
	3,49								
	0,05								
	2,38								
	0,05								
	2,85								
	2,23								
	3,42								
	2,83								
	2,51								
	4,22								
	3,38								
	3,27								
	8,63								
	3,31								
	3,11								
	3,56								
	3,46								
	3,19								
	3,14								
	0,86								
	0,41								
	2,21	6,93	25,68	16,13	21,75	2,85	1,12	255	0
	3,52	7,04	4,12	15,17	14,08	2,32	2,03	255	0



Hyperbenen-Klassifikator



Hyper Ebenen-Klassifikator

Enable	Hide	Type	Key	Name of Class	Tally
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	A	blood	52
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	B	Bakterien	6
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area	C	Mni	7

Hide Labels

Klassifikation / Mustererkennung:
 Beispiel: Blutbild
 1. Originalbild RGB
 2. RGB --> Grauwertbild
 3. Invertierung/Binarisierung
 4. Konturverfolg. / Merkmalsextr. / Randobjektextr.
 5. Klassifikation
 6. Auswertung

Vorgabe: 0-2 Bakt. --> gesund

$$V = \frac{A}{B} \begin{cases} 1 \text{ für } V \geq 26 (\text{gesund}) \\ 0 \text{ für } V < 26 (\text{krank}) \end{cases}$$



Zusammenfassung - Was sollten Sie gelernt haben?

- Bildbearbeitung-Bildverarbeitung
- Klassifikation:
 - Segmentierung,
 - Merkmalsextraktion,
 - Merkmalsraum,
 - Klassifikation
- Merkmalsgüte
- Klassifikationsverfahren:
 - Hyper Ebenen-, Hyperquader-Klassifikator,
 - Hauptebenen transformation
 - Minimal-Distanz
 - Maximum Likelihood (Bayes)
- Praktische Anwendung



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!