

Bildverarbeitung 1 Vom Pixel zum Objekt

Dr. Andrea Miene

Verarbeitungsstufen der Bildanalyse

- ▶ **Bildgebung**
 - Bilderfassung durch verschiedene Sensoren
- ▶ **Vorverarbeitung**
 - Bildverbesserung, ...
- ▶ **Segmentierung**
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- ▶ **Merkmalsextraktion**
 - Farbe, Kontur, Textur...
- ▶ **Klassifikation**
 - Diskriminantenfkt., Abstand, Wahrscheinlichkeit, ...

**Mustererkennungs-
Paradigma**

Segmentierung

- ▶ Begriffsbestimmung
- ▶ Einfache Verfahren (punktorientiert)
 - Geeignete Merkmale auf Ebene einzelner Punkte (Pixel)
 - Globale Schwellwertsegmentierung
 - Lokale adaptive Schwellwertsegmentierung
- ▶ Komplexe Verfahren (nachbarschaftsorientiert)
 - Diskontinuitätskriterium (Kanten)
 - Homogenitätskriterium (Intensitätswert, Farbe)
 - Hybride Verfahren (Kombination aus beiden Kriterien)
- ▶ Zusammenfassung

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Grundlagen und Begriffe
- ▶ Auffinden von Kantenpunkten
 - 1. Ableitung des Bildsignals: Gradientenoperatoren
 - 2. Ableitung des Bildsignals: Laplace-Operator
 - Einseitiger Kantenfilter
- ▶ Verkettung von Kantenpunkten zu Konturen
 - Konturverfolgungs- und Konturverkettungsalgorithmen
 - Canny-Algorithmus
 - Hough-Transformation

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough-Transformation: Ziele
 - Konturbasierte Segmentierung
 - Bestimmung von Geraden, auf denen viele Kantenpunkten liegen
 - Schließen von Lücken zwischen den Punkten
 - Kanten werden auch dann erkannt und zu einer Linie zusammengefasst, wenn sie unterbrochen sind
 - Unterbrechungen durch Rauschen oder durch Verdeckung werden beseitigt
 - Einschränkung: Kantenpunkte müssen auf Geraden liegen
 - Es gibt Erweiterungen, bei denen statt einer Geraden andere Funktionen zur Beschreibung des Kantenverlaufs genutzt werden (z.B. Kreisfunktion)

Kantenbasierte Segmentierung

► Hough-Transformation – Prinzip (1)

- Durch jeden Kantenpunkt wird ein Geradenbüschel gelegt
- Das Geradenbüschel enthält (theoretisch) alle denkbaren Geraden, zu denen der Punkt gehören könnte
 - In der Praxis muss man sich auf eine feste Menge von Geraden beschränken
 - Die Anzahl beeinflusst die Genauigkeit der Approximation des tatsächlichen Verlaufs der Geraden im Bild
- Jede Gerade wird mit zwei Parametern beschrieben, die als Koordinaten der Gerade im Hough Raum aufgefasst werden
- Jede Gerade wird in anhand dieser Koordinaten in einen zweidimensionalen Akkumulator eingetragen

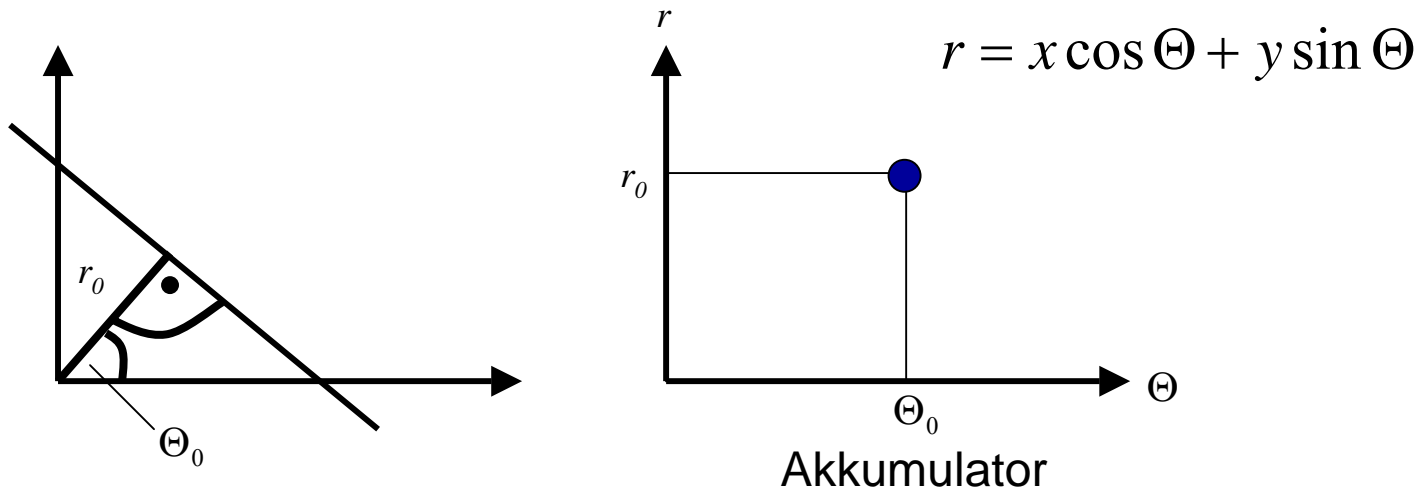
Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough-Transformation – Prinzip (2)
 - Hohe Werte im Akkumulator deuten auf viele kollineare Punkte hin, die auf der den Koordinaten entsprechenden Geraden liegen
 - Lokale Maxima im Akkumulator finden und die entsprechenden Geraden ins Bild projizieren
 - Gerade verbindet die auf ihr liegenden Kantenpunkte
 - In einem Nachbearbeitungsschritt können überstehende Enden der Geraden abgeschnitten werden

Kantenbasierte Segmentierung

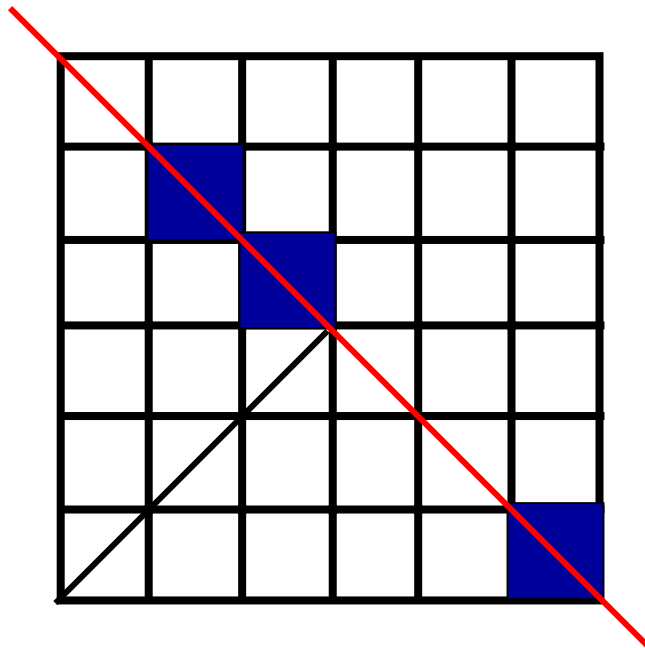
► Hough-Transformation

- Geradendarstellung in Hessescher Normalform
 - Kürzester Abstand zwischen einer Geraden und dem Ursprung
 - Gegeben durch den Winkel Θ der Senkrechten zur Geraden und den Abstand r von Ursprung

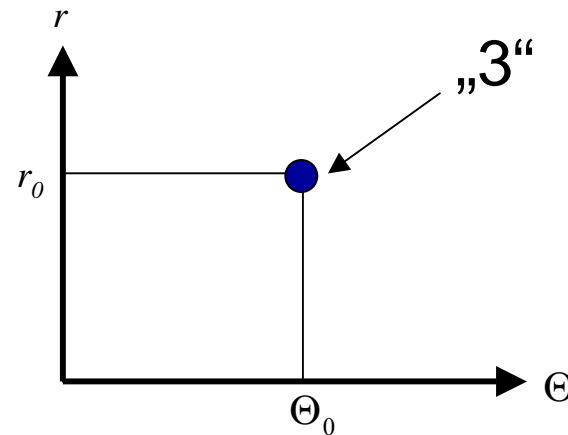


Kantenbasierte Segmentierung

► Hough-Transformation

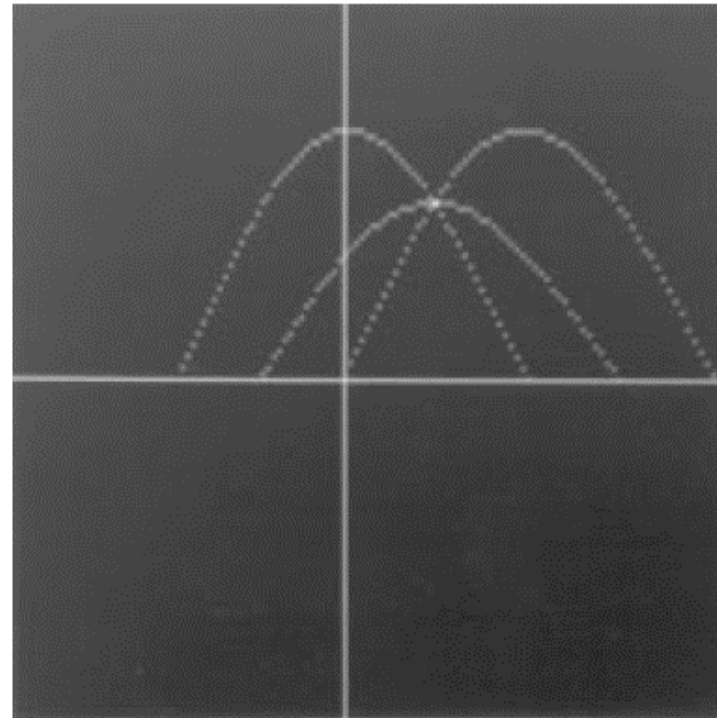
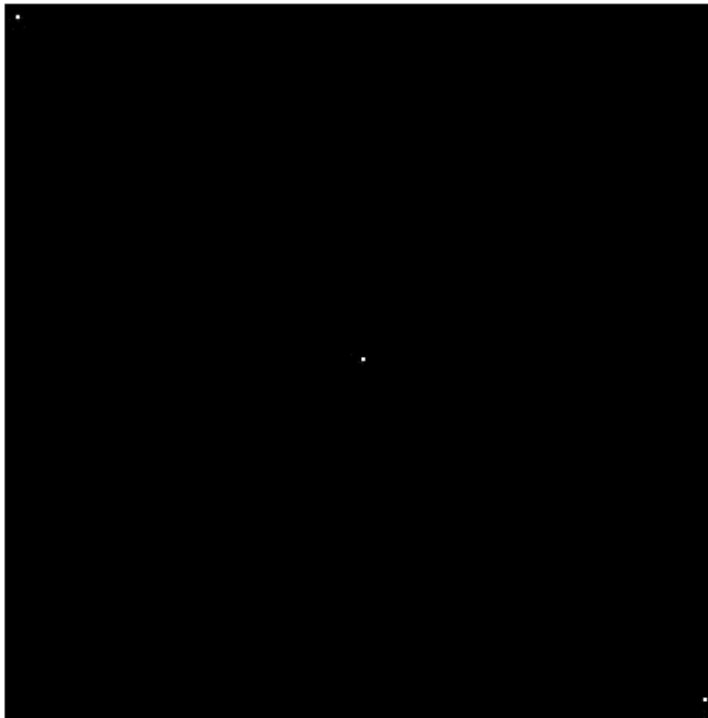


 = markierter Kantenpunkt



Kantenbasierte Segmentierung

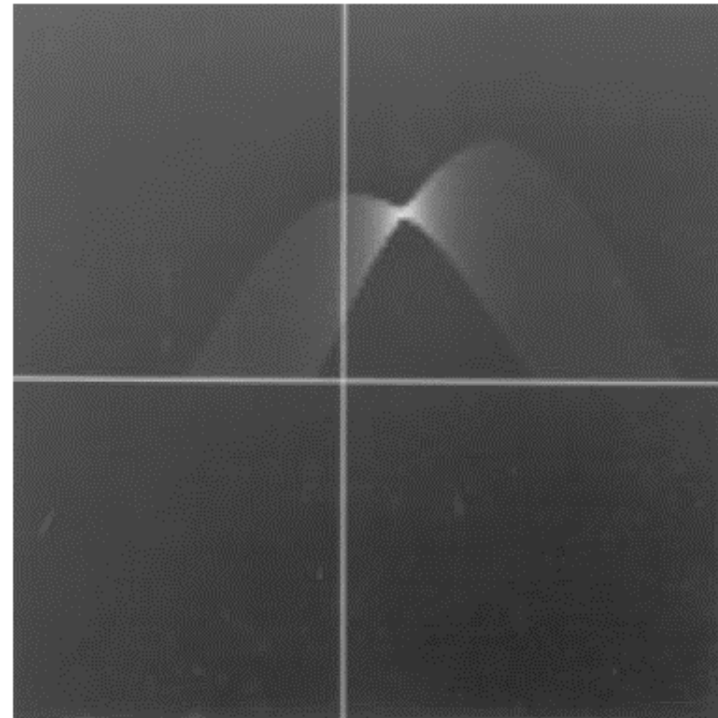
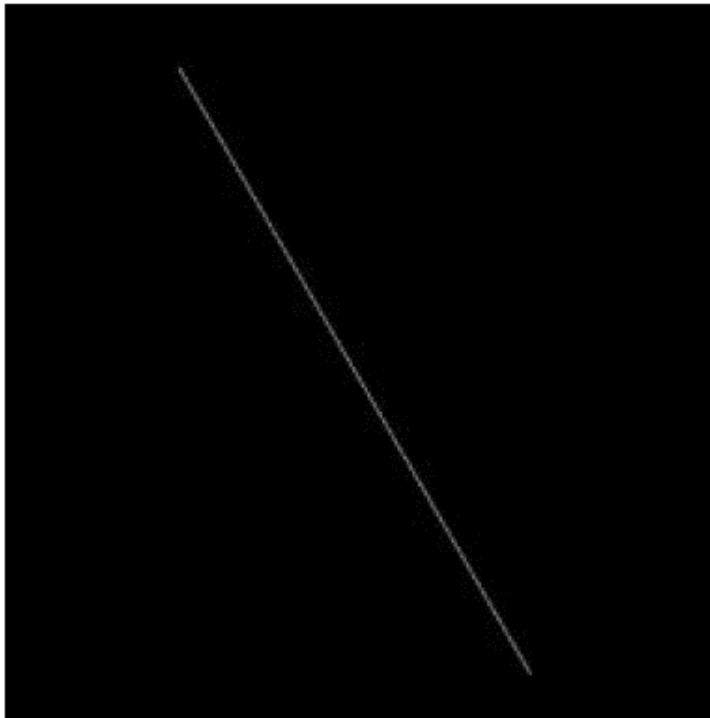
- ▶ Hough Transformation – Beispiel: 3 Punkte



[Pratt 01], S. 574

Kantenbasierte Segmentierung

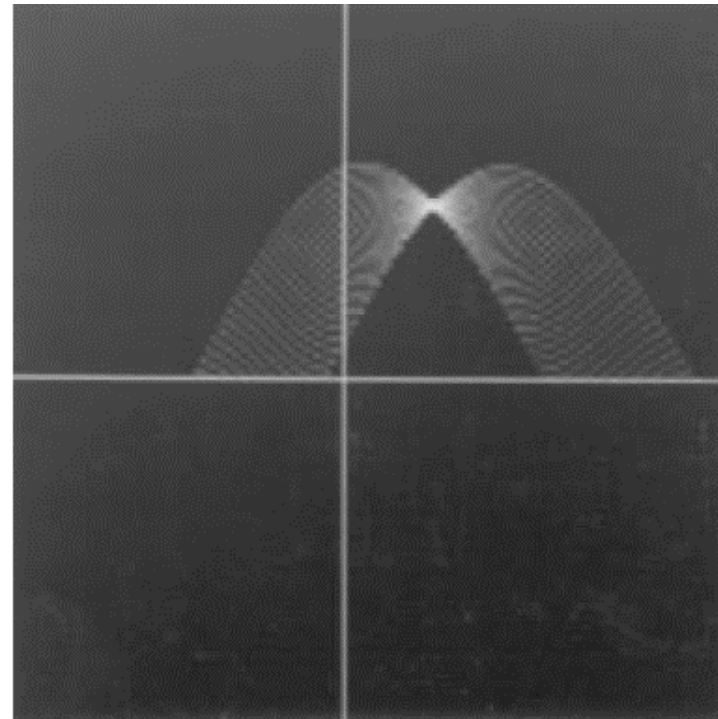
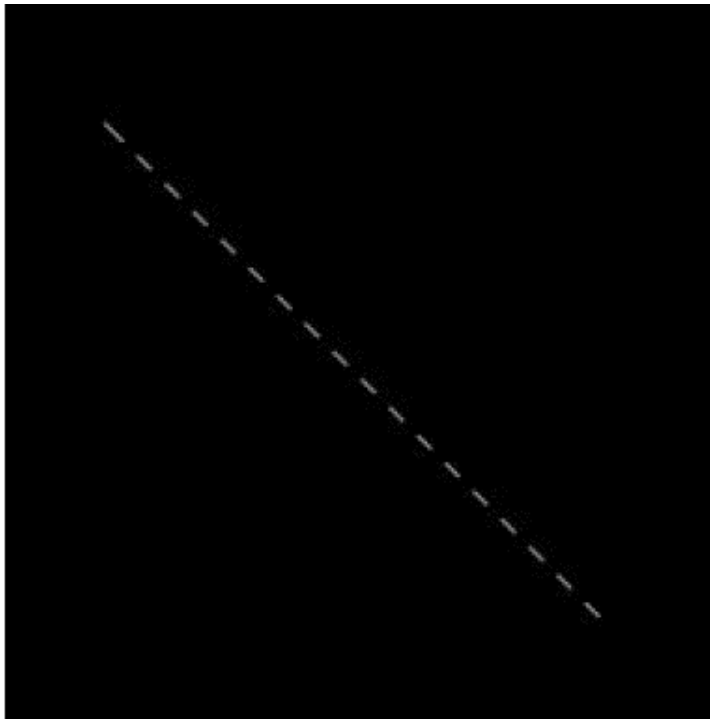
- ▶ Hough Transformation – Beispiel: Eine Linie



[Pratt 01], S. 574

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough Transformation – Beispiel: Unterbrochene Linie



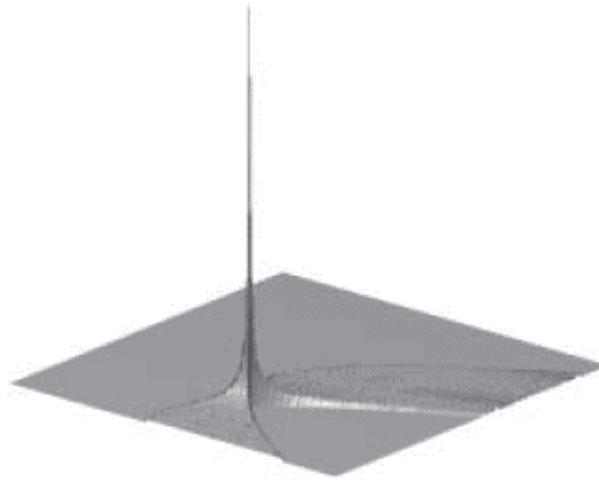
[Pratt 01], S. 574

Kantenbasierte Segmentierung

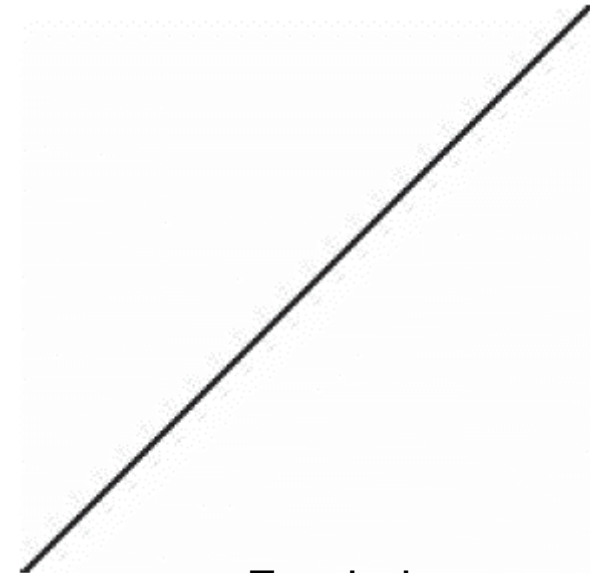
► Hough Transformation – Beispiel: Linie



Originalbild



Akkumulator

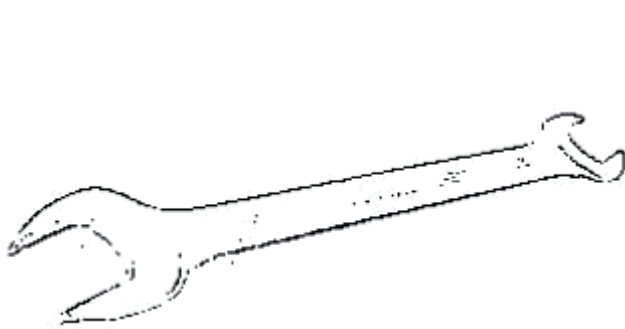


Ergebnis

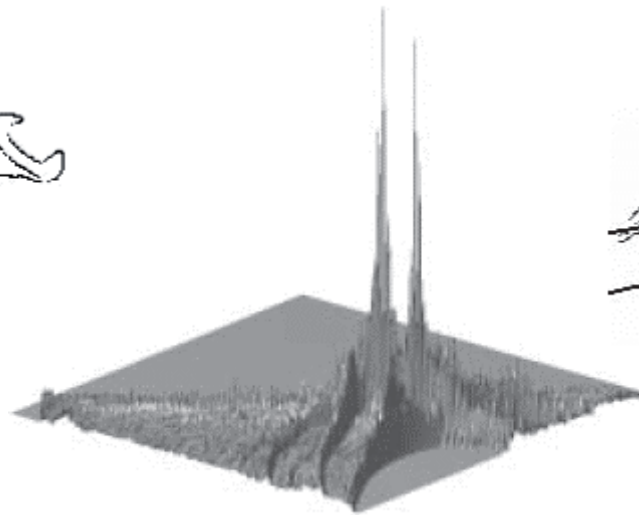
[Nixon 02], S. 177 und 180

Kantenbasierte Segmentierung

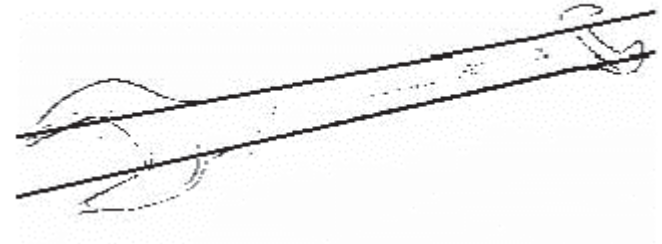
- ▶ Hough Transformation – Beispiel: Schraubenschlüssel



Originalbild



Akkumulator

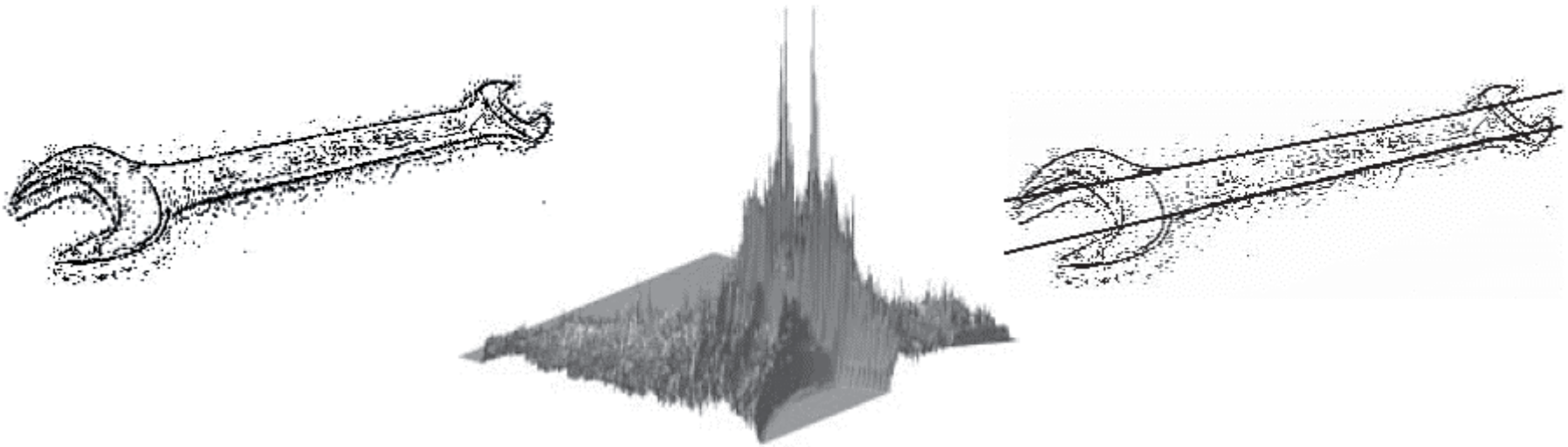


Ergebnis

[Nixon 02], S. 177 und 180

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough Transformation – Beispiel: Schraubenschlüssel mit Rauschen



Originalbild

Akkumulator

Ergebnis

[Nixon 02], S. 177 und 180

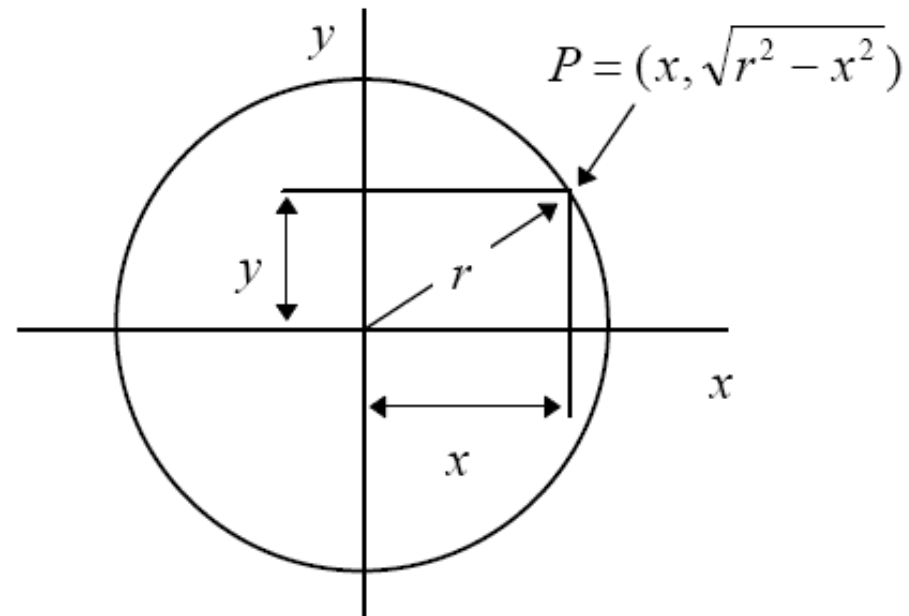
Kantenbasierte Segmentierung

► Hough Transformation – Modifikation für Kreise

- Beschreibung von Kreisen mit Radius r und Zentrum (x_0, y_0) :

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$$

- Kreise werden durch drei Parameter beschrieben, daher dreidimensionaler Hough Raum (x_0, y_0, r)
- Problem:
 - Auflösen nach den Parametern nicht möglich



Kantenbasierte Segmentierung

► Hough Transformation – Modifikation für Kreise

- Lösung: Darstellung der Kreisgleichung mit trigonometrischen Funktionen

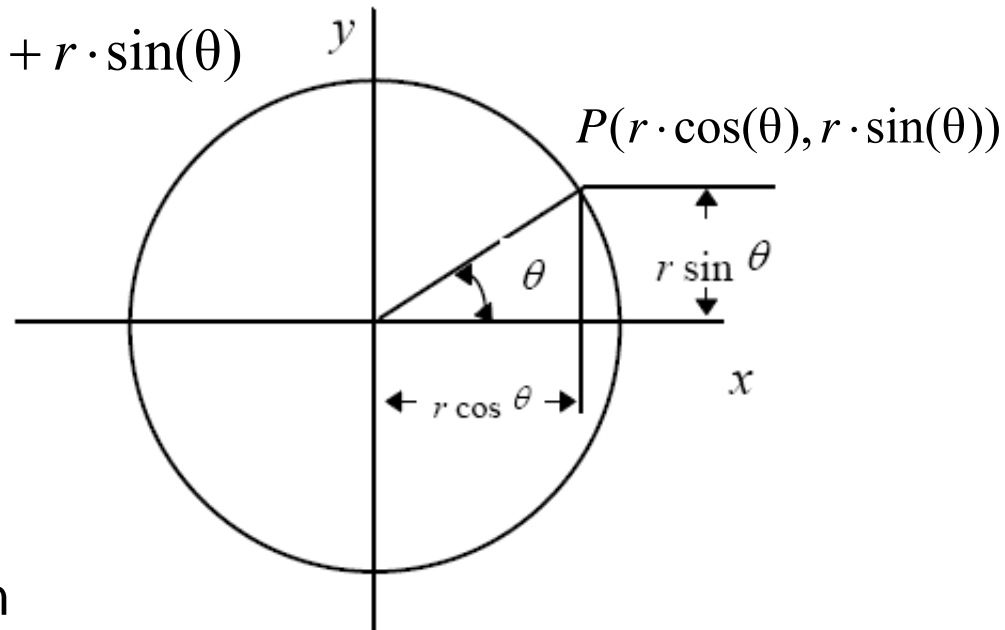
$$x = x_0 + r \cdot \cos(\theta) \quad y = y_0 + r \cdot \sin(\theta)$$

- Punkte im Hough Raum, abhängig von r und θ

$$x_0 = x - r \cdot \cos(\theta)$$

$$y_0 = y - r \cdot \sin(\theta)$$

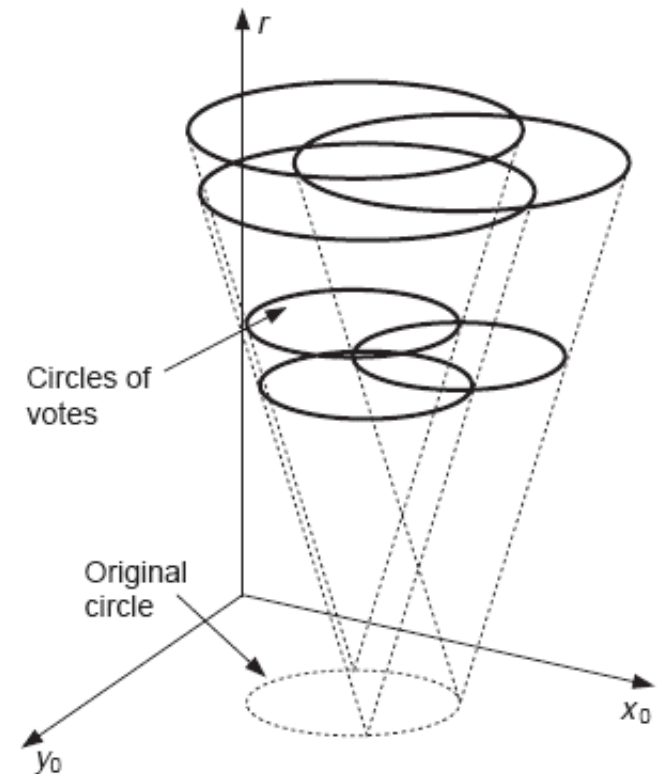
- Variation von r und θ , um den Akkumulator zu füllen



Kantenbasierte Segmentierung

► Hough Transformation für Kreise

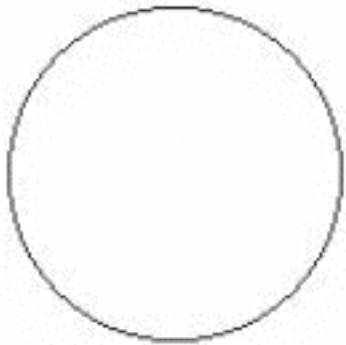
- Jeder Punkt auf dem Kreis liefert eine Menge Kreise mit variierenden Radien und Zentren, auf denen er liegen kann
- Die Zentren der möglichen Kreise eines Punktes (x, y) zu einem Radius r liegen auf Kreisen im Hough Raum
- Der Radius r gibt die Ebene an, auf der die Kreise liegen
- Je mehr Kreise sich in einem Punkt im Hough Raum schneiden desto größer der Wert im Akkumulator und desto mehr Punkte liegen auf dem Kreis



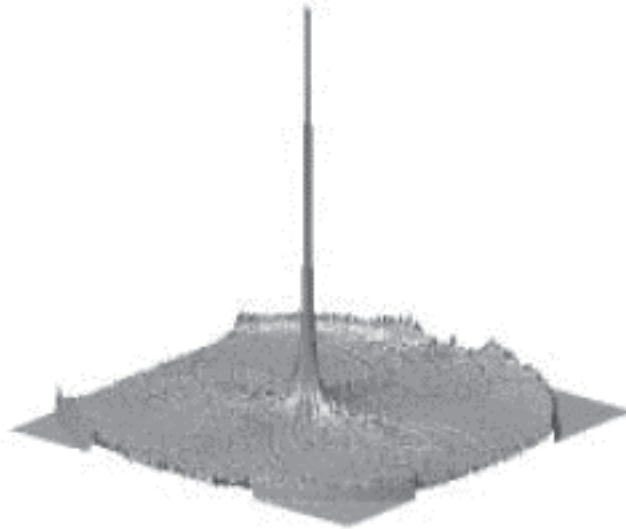
[Nixon 02], S. 181

Kantenbasierte Segmentierung

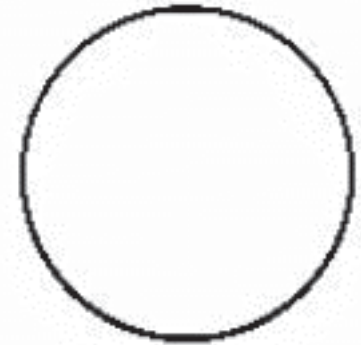
- ▶ Hough Transformation für Kreise: Beispiel Kreis



Originalbild



Akkumulator

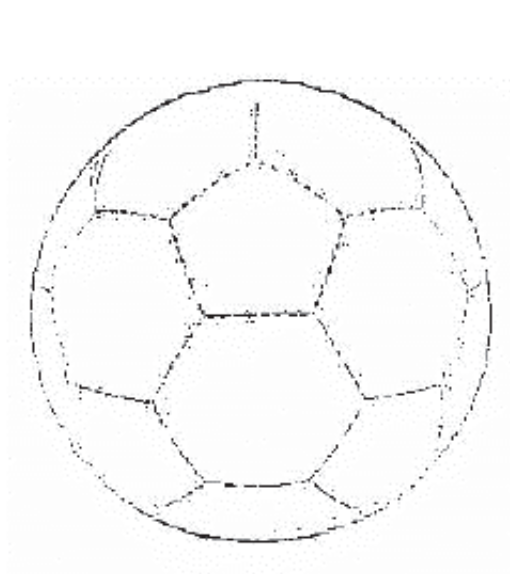


Ergebnis

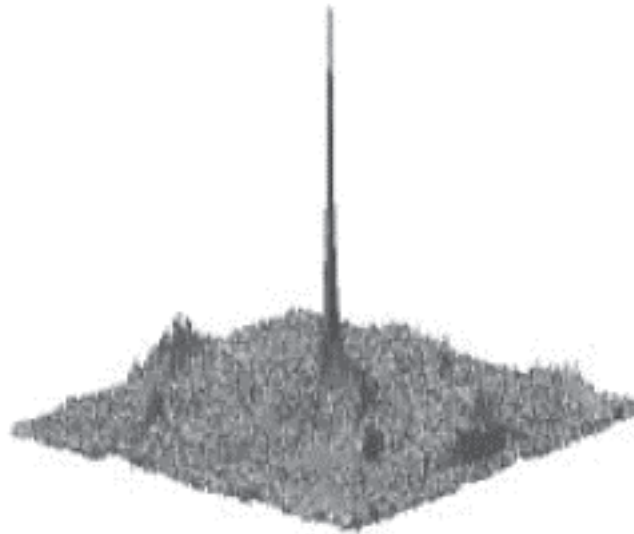
[Nixon 02], S. 183

Kantenbasierte Segmentierung

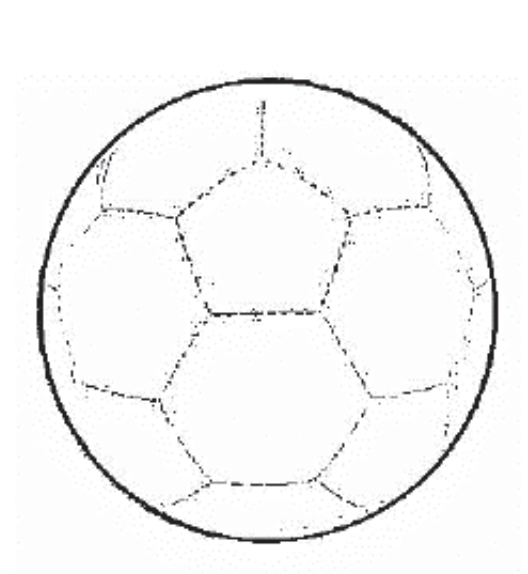
- ▶ Hough Transformation für Kreise: Beispiel Fußball



Originalbild



Akkumulator

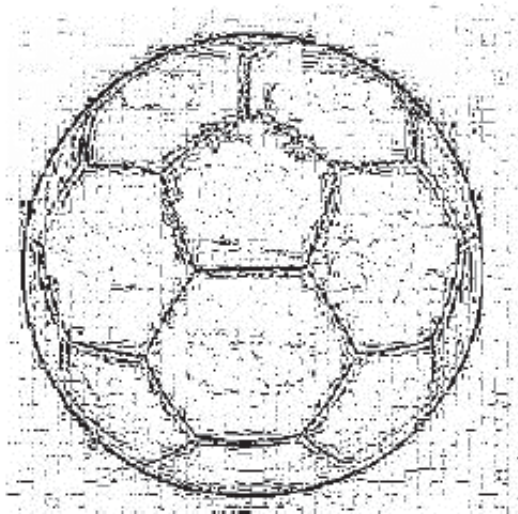


Ergebnis

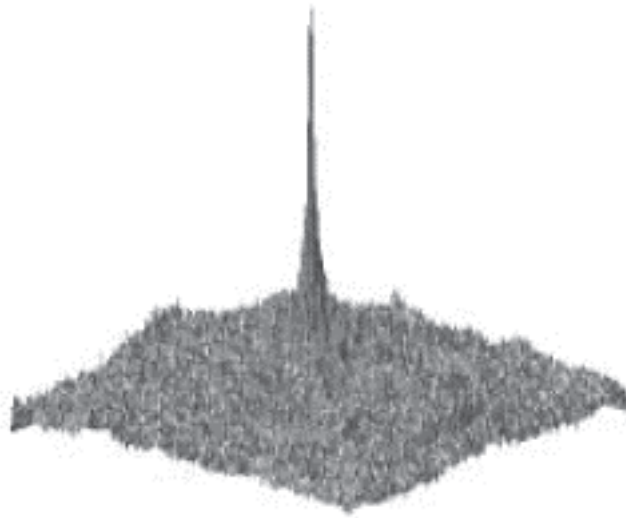
[Nixon 02], S. 183

Kantenbasierte Segmentierung

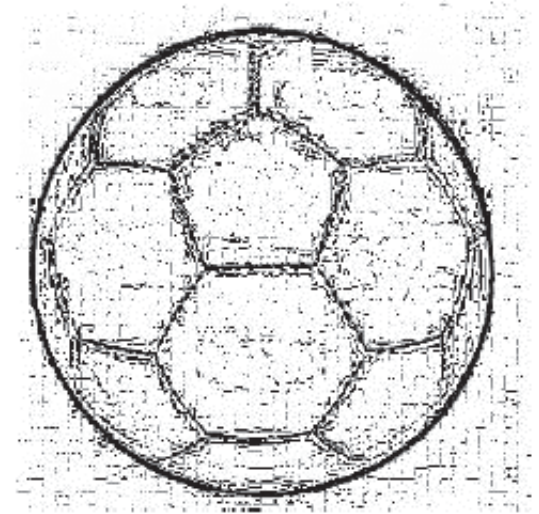
- ▶ Hough Transformation für Kreise: Bsp. Fußball/Rauschen



Originalbild



Akkumulator



Ergebnis

[Nixon 02], S. 183

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough Transformation – Verbesserung [Kimme 75]
 - Verringerung der Zahl der zu betrachtenden Winkel, indem für jeden Punkt nur Winkel gleich bzw. sehr ähnlich zum Gradienten betrachtet werden
 - Ein Verlauf der Kontur senkrecht zum Gradienten ist wahrscheinlich (vgl. Canny-Algorithmus)
 - Das Verfahren arbeitet dadurch effizienter, eine Dimension wird eingespart
 - Statt den Akkumulator zu inkrementieren kann auch ein mit der Kantenstärke (Magnitude) gewichteter Wert addiert werden (dann statt des binarisierten Bildes ein Magnitudenbild verwenden)

Kantenbasierte Segmentierung

- ▶ Hough Transformation - Zusammenfassung
 - Erkennung von Objektkanten die Geraden bzw. Kreisen darstellen durch Aufdeckung von Kollinearitäten
 - Prinzipiell sind auch andere Formen möglich (z.B. Ellipsen), jedoch steigt die Dimensionalität des Hough Raums
 - OpenCV enthält zwei Funktionen für die Hough Transformation:
 - `cvHoughLines2`
 - `cvHoughCircles`

Kantenbasierte Segmentierung

► Literatur und Quellen

- [Hough 62] Hough, P.V.C., Method and means for recognizing complex patterns. U.S. Patent 3069654, 1962.
- [Duda 72] Duda, R.O. and Hart, P.E., Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures, *Comms. of the ACM*, 15, pp. 11-15, 1972.
- [Kimme 75] Kimme, C., Ballard, D. and Sklansky, J., Finding Circles by an array of accumulators. *Comms. of the ACM*, 18 (2), pp. 120-122, 1975.
- [Nixon 02] Nixon, Marc S. and Aguado, Albert S., *Feature Extraction and Image Processing*. Newnes, 2002.
- [Pratt 01] Pratt, William K., *Digital Image Processing: PIKS Inside*, Third Edition, Wiley, 2001

Segmentierung

- ▶ Begriffsbestimmung
- ▶ Einfache Verfahren (punktorientiert)
 - Geeignete Merkmale auf Ebene einzelner Punkte (Pixel)
 - Globale Schwellwertsegmentierung
 - Lokale adaptive Schwellwertsegmentierung
- ▶ Komplexe Verfahren (nachbarschaftsorientiert)
 - Diskontinuitätskriterium (Kanten)
 - Homogenitätskriterium (Intensitätswert, Farbe)
 - Hybride Verfahren (Kombination aus beiden Kriterien)
- ▶ Zusammenfassung

Segmentierung

- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien
 - Z.B. Intensitätswert, Farbe oder Textur
- ▶ Homogenität bedeutet Ähnlichkeit
- ▶ Benachbarte Bildpunkte mit ähnlichen Eigenschaften werden zu Segmenten zusammengefasst
- ▶ Vorteil gegenüber kantenbasierten Ansätzen:
 - Segmente sind immer zusammenhängend
- ▶ Im Gegensatz zu den diskontinuitätsbasierten Ansätzen suchen wir hier nicht nach den Grenzen, sondern nach zusammenhängenden Bereichen

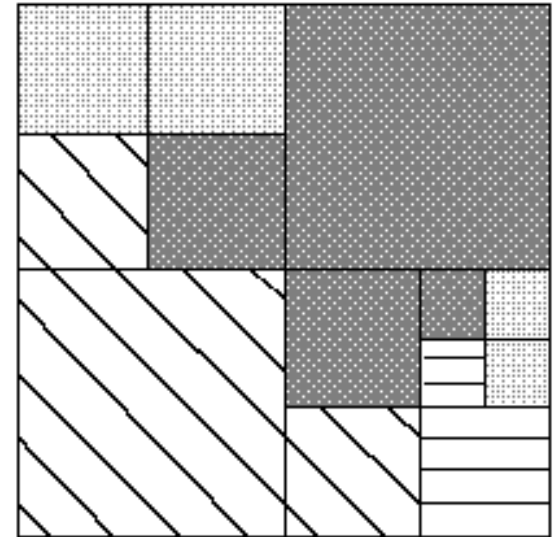
Segmentierung

- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien - Verfahren
 - Split and Merge
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Blob Coloring
 - Region Growing
 - Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Split and Merge

1. Split: Prüfe für das Bild, ob das Homogenitätskriterium erfüllt ist
 - Ja: Splitting fertig für dieses (Teil-)Bild
 - Nein: Teile das Bild in vier Teilbilder der halben Höhe und Breite (Split) und fahre mit jedem Teilbild fort mit Schritt 1.
2. Merge: Prüfe für jede Vereinigung benachbarter Regionen, ob das Homogenitätskriterium erfüllt ist
 - Ja: Vereinige die Regionen (Merge)Fertig, wenn keine Vereinigung mehr möglich ist



Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Split and Merge – Homogenitätskriterium für Intensitäten
 - Splitting
 - Schwellwert bezüglich der Standardabweichung der Grauwertverteilung
 - Merging:
 - Schwellwert bezüglich der Standardabweichung der Grauwertverteilung der vereinigten Region
 - Schwellwert bezüglich einer Differenz der Mittelwerte der benachbarten Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

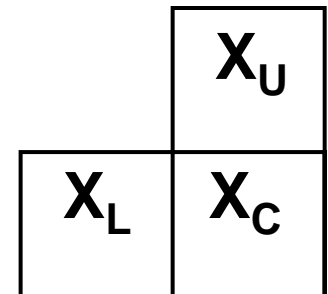
- ▶ Split and Merge – Schwierigkeiten
 - Wahl des Schwellwertes
 - Splitting kann im ungünstigsten Fall (bei kleinen Schwellwerten) bis auf die Ebene einzelner Punkte gehen
 - Bei großen Schwellwerten werden dagegen bevorzugt rechteckige Regionen gebildet
 - Wahl des passenden Homogenitätskriteriums
- ▶ Vorteile
 - Keine Startpunkte nötig
 - Liefert stets eine vollständige und überschneidungsfreie Segmentierung

Segmentierung

- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien - Verfahren
 - Split and Merge
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Blob Coloring
 - Region Growing
 - Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

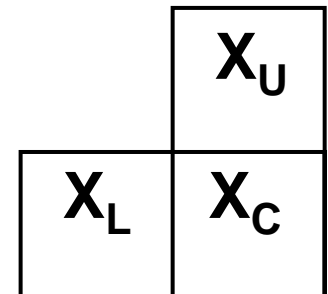
- ▶ Blob-Coloring [Ballard 82]
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Ursprünglicher Algorithmus: Markieren von zusammenhängenden weißen Regionen in Binärbildern
 - Ziel: Jeder weißen Region ein eindeutiges Label zuweisen
 - Algorithmus
 - Abtasten des Bildes mit der abgebildeten L-förmigen Maske von links oben nach rechts unten
 - Zuordnung gesetzter Punkte zu Regionen
- ▶ Vorteil: Keine Startpunkte erforderlich



Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Blob-Coloring [Ballard 82]

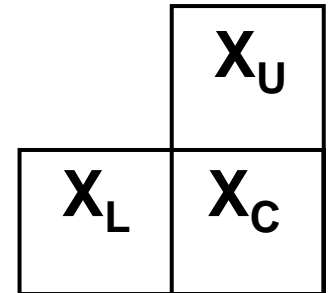
- Wandere mit der abgebildeten L-förmigen Maske von links oben nach rechts unten über das Bild
 - Dabei ist X_C der zu segmentierende Punkt
 - X_U und X_L sind bereits segmentiert
- Wenn $X_C = 255$
 - wenn $X_L = 0$ und $X_U = 0$ dann beginne mit X_C eine neue Region
 - wenn $X_L = 0$ und $X_U = 255$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_U
 - wenn $X_L = 255$ und $X_U = 0$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_L
 - wenn $X_L = 255$ und $X_U = 255$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_L und verschmelze die Regionen von X_U und X_L .



Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Blob-Coloring angepasst für Grauwertbilder

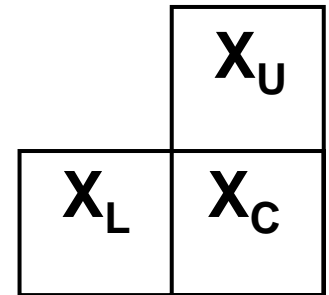
- Bestimme an jedem Punkt X_C die Grauwertdifferenzen $|X_C - X_L|$ bzw. $|X_C - X_U|$ gemäß der L-förmigen Maske
- Statt eines Tests auf Gleichheit wird nun geprüft, ob sich die Grauwerte hinreichend ähnlich sind
- Diese Entscheidung wird bezüglich einer Schwelle S getroffen
- Zwei Grauwerte gelten als ähnlich, wenn ihre Differenz kleiner oder gleich der Schwelle S ist



Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Blob-Coloring angepasst für Grauwertbilder

- Bestimme an jedem Punkt X_C die Grauwertdifferenzen $D_{CL} = |X_C - X_L|$ bzw. $D_{CU} = |X_C - X_U|$ gemäß der L-förmigen Maske
 - wenn $D_{CL} > S$ und $D_{CU} > S$ dann beginne mit X_C eine neue Region
 - wenn $D_{CL} > S$ und $D_{CU} \leq S$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_U
 - wenn $D_{CL} \leq S$ und $D_{CU} > S$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_L
 - wenn $D_{CL} \leq S$ und $D_{CU} \leq S$ dann ordne X_C derselben Region zu wie X_L und verschmelze die Regionen von X_U und X_L .



Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Blob-Coloring für Farbbilder

- Zwei Varianten

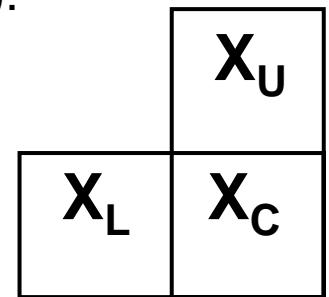
1. Bestimmung der Farbdifferenz mittels des euklidischen Abstandes

$$\text{diff}(c_1, c_2) = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

mit c_1, c_2 Farben im RGB Farbraum mit den Intensitäten r, g und b für die drei Kanäle (für andere Modelle entsprechen).

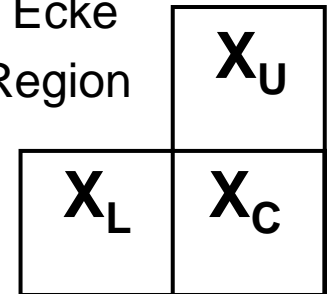
- Problem: Die meisten Farbmodelle sind nicht gleichabständig!

2. Verwendung von drei individuellen Schwellen S_1, S_2, S_3 für die drei Farbkanäle. Alle Differenzen müssen innerhalb der jeweiligen Toleranz sein



Homogenitätsbasierte Segmentierung

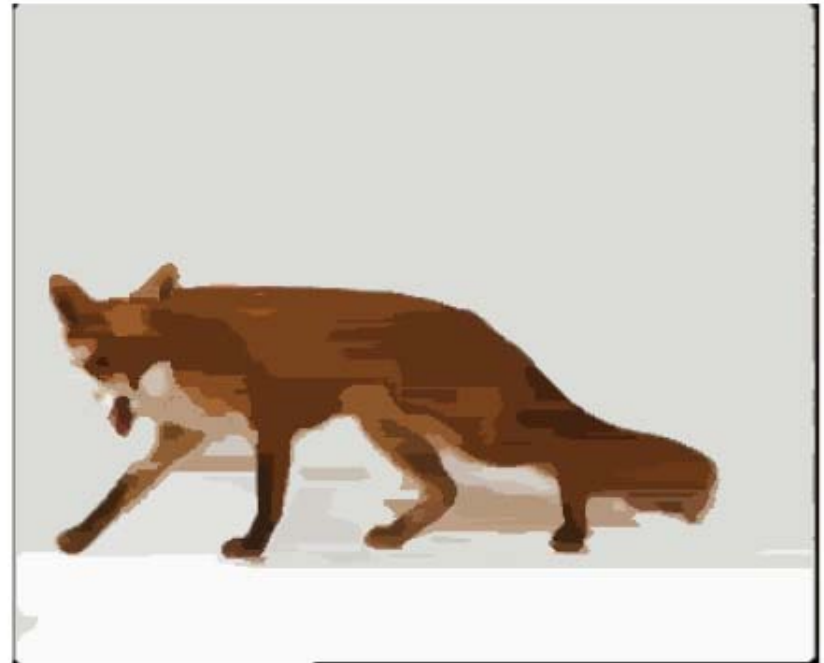
- ▶ Blob-Coloring - Probleme bei Farb- und Grauwertbildern
 - Zwar braucht man keine Startpunkte, doch ist dadurch das Ergebnis durch die Abarbeitungsreihenfolge beeinflusst
 - Implizit liegt der erste Startpunkt in der linken oberen Ecke
 - Jeder folgende Startpunkt liegt am Rand der neuen Region
 - Bedingt durch die Abarbeitungsreihenfolge entstehen leicht Streifenmuster
 - Vergleich von benachbarten Punkten führt oft zur Zusammenfassung von Verläufen zu einer einzigen Region
 - Bedingte Abhilfe: Zentroides Blob-Coloring (Vergleich mit dem Mittelwert der bereits zur Region gehörenden Punkte)



Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Beispiel: Erweitertes Blob-Coloring für Farbbilder im HLS Farbraum mit zentroider Verkettung

[Melzer 02], S. 54



Segmentierung

- ▶ Segmentierung nach Homogenitätskriterien - Verfahren
 - Split and Merge
 - Bereichswachstumsverfahren
 - Blob Coloring
 - Region Growing
 - Segmentierung mit Bildpyramiden (pyramid linking)

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing (Bereichswachstumsverfahren)
 - Wachstum beginnt an *Startpunkten* (auch Saatpunkte genannt)
 - Bewertung der Ähnlichkeit anhand eines *Abstandsmaßes*
 - *Schwellwert* T zur Entscheidung ob hinreichend ähnlich
 - Abstand $< T$: Werte hinreichend ähnlich (Punkt zur Region hinzufügen bzw. Regionen verschmelzen)
 - Zahlreiche Varianten zum *Vergleich* von Regionen mit potentiellen neuen Punkten und zum Vergleich zweier ggf. zu verschmelzender Regionen
 - Varianten hinsichtlich der *Abarbeitungsreihenfolge*
 - Paralleles Erweitern der Regionen von allen Startpunkten gleichzeitig
 - Sequentielles Erweitern der Regionen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Region Growing: Startpunkte

- Finden geeigneter Startpunkte ist essentiell für das Segmentierungsergebnis
- Ideal wäre ein Startpunkt pro Region
- Schwer zu realisieren, da im Allgemeinen weder die Anzahl der Regionen noch ihre Grenzen bekannt sind
- Verschiedene Möglichkeiten zur Festlegung von Startpunkten
 - Zufällige Wahl eines noch nicht segmentierten Punktes
 - Interaktive Festlegung durch den Benutzer
 - Automatische Bestimmung von Startpunkten in möglichst großen und möglichst homogenen Umgebungen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Region Growing: Startpunkte

- Automatische Bestimmung von Startpunkten in möglichst großen und möglichst homogenen Umgebungen
- Bewertungskriterien:
 - Vergleich des potentiellen Startpunktes mit dem Mittelwert der Umgebung (Mittelwertbildung ungewichtet oder Gauß-gewichtet)
 - Bestimmung der Varianz der Werte in der Umgebung
- Startpunkte sind diejenigen Punkte, bei denen das Bewertungskriterium möglich klein ist (dann ist die Homogenität der Umgebung hoch)
- Zur Bewertung können die Kriterien Größe der Umgebung und Homogenität auch kombiniert werden

Homogenitätsbasierte Segmentierung

- ▶ Region Growing: Bewertung der Ähnlichkeit
 - Verwendung von Abstandsmaßen
 - Zu vergleichende Werte sind Vektoren mit n Einzelwerten
 - Grauwertbild: $n=1$; Farbbild: $n=3$, Textur: n Merkmale, ...
 - Vergleich aller Einzelwerte mit einer Schwelle:
 - Summe der absoluten Differenzen

$$D_{L1}(A, B) = \sum_{i=0}^{n-1} |A_i - B_i|$$

- Euklidischer Abstand

$$D_{L2}(A, B) = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (A_i - B_i)^2}$$

- Angabe einer individuellen Schwelle für jeden Einzelwert
 - ähnlich, wenn alle Werte ähnlich sind bezüglich ihrer jew. Schwellen

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Region Growing: Schwellwerte

- Berechneter Abstand wird mit einem Schwellwert verglichen
- Homogenitätskriterium erfüllt, wenn $\text{Abstand} < \text{Schwellwert}$
- Kleine Schwellwerte ergeben viele kleine Regionen, da der Schwellwert häufig überschritten wird
 - Gefahr der Übersegmentierung
 - Kann durch anschließendes Verschmelzen von Regionen reguliert werden
- Große Schwellwerte ergeben wenige große Regionen
 - Gefahr der Untersegmentierung
 - Auflösung nur durch erneute Segmentierung

Homogenitätsbasierte Segmentierung

► Literatur

- [Ballard 82] D.H. Ballard and C.M. Brown. *Computer Vision*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- [Melzer 02] Björn Melzer. *Bewegungsanalyse in Bildfolgen auf Basis von Farbregionen*. Diplomarbeit. Universität Bremen, April 2002.