

Chapter 4 Image Segmentation



Distributed Algorithms
for Image and Video Processing

Inhalt

- Image Segmentation
 - Clustering (K-means) → Vertiefung in Übung
 - Histogram Based Segmentation
 - Region Growing → Vertiefung in Übung
 - Edge Detection
 - Graph Partitioning (Graph Cuts) → Vertiefung in Übung
- Object Segmentation in Videos
 - Berechnung der Kamerabewegungen zwischen beliebigen Bildern
 - Transformation eines Bildes
 - Erzeugung von Hintergrundbildern und Segmentierung von Objekten
 - Ergebnisse

2

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Image Segmentation

Definition

- Gegeben: Bild, dass aus mehreren Regionen (z.B. Objekten) besteht
- Gesucht: einzelne Regionen eines Bildes
- Anforderungen an die Pixel einer Region:
 - zusammenhängend
 - homogen

3

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Clustering (K-means)

Partitioniere ein Bild in K Cluster

1. Initialisiere Cluster-Zentren
2. Ordne jedes Pixel dem nächsten (ähnlichsten) Cluster-Zentrum zu
3. Berechne Cluster-Zentrum neu (Mittelwert aller Pixel eines Clusters)
4. Gehe zu 2., bis alle Cluster-Zentren stabil sind

→ Detaillierte Besprechung in Übung

4

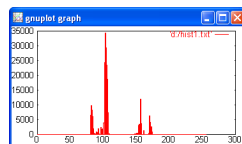
Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Histogram Based Segmentation

1. Berechne Histogramm eines Bildes
2. Suche maximalen Wert im Histogramm
3. Pixel dieser Farbe definieren eine oder mehrere Regionen im Bild
4. Setze den ausgewählten Histogrammwert auf Null
5. Gehe zu 2., solange Anzahl Pixel größer als Schwellwert ist



5

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Region Growing

Idee

- Markiere alle Pixel als undefiniert
- Setze $j=1$
- Wiederhole, solange undefiniertes Pixel existiert:
 - Wähle das nächste undefinierte Pixel P
 - Ordne Pixel Region j zu
 - Füge iterativ Nachbarpixel zur Region hinzu, solange der Unterschied zum Pixel P geringer als ein Schwellwert ist
 - Erhöhe j um 1

→ Detaillierte Besprechung in Übung

6

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Segmentierung mittels Kanten

Idee

- Berechne Kantenbild (vgl. *Canny*)
- Eine einzelne Regionen wird durch Kanten des Bildes begrenzt (Erkennung z.B. mittels *Floodfill*)

Problem

- Kanten sind häufig nicht zusammenhängend, so dass keine geeigneten Regionen gefunden werden



Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

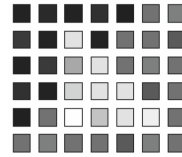
UNIVERSITY OF
MANNHEIM

7

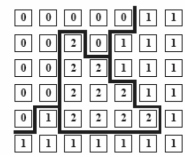
Graph Partitioning (Graph Cuts) (1)

Gesucht

- Klassifiziere alle Pixel eines Bildes (Objektnummer)



Pixel eines Bildes



Objektklassifizierung

Quelle: Collins, „Graph Cut
Matching In Computer Vision“

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

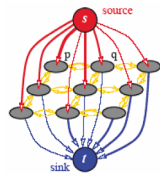
Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

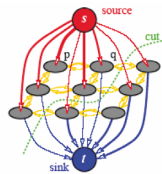
8

Graph Partitioning (Graph Cuts) (2)

- Aufbau eines Graphen aus einem Bild
- Suche den maximalen Fluss durch den Graphen



Aufbau des Graphen



Minimaler Schnitt des Graphen

Quelle: Collins,
„Graph Cut Matching
In Computer Vision“

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

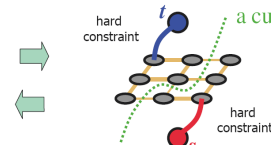
Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

9

Graph Partitioning (Graph Cuts) (3)

- Manuelle Initialisierung der Knoten Source und Sink
- Die Kosten der Kanten im Graph sind gering, falls die Gradientenstärke an der Pixelposition hoch ist.
- Bei schwacher Gradientenstärke sind die Kosten im Graph hoch.



→ Detaillierte Besprechung in Übung

Quelle: Boykov, Cremers,
Kolmogorov: „Graph Cuts vs.
Level Sets“, 2006

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

10

Bildsegmentierung in Videos (1)

Ziel

- Objekte des Bildvordergrundes (Objekt bewegt sich) ausschneiden (segmentieren)

Annahmen

- Bewegung des Objektes unterscheidet sich von der Bewegung des Bildhintergrundes
- Deutlicher Helligkeits- oder Farbunterschied zwischen Objekt und Hintergrund
- Mindestens die Hälfte der Pixel im Bild gehören zum Bildhintergrund
- Objekt bewegt sich kontinuierlich über den Zeitablauf

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

11

Bildsegmentierung in Videos (2)

Segmentierungsalgorithmus

1. Der Bildhintergrund aller Bilder einer Kameraeinstellung wird deckungsgleich ausgerichtet:
 - Berechnung der Parameter des Kameramodells zwischen beliebigen Bildern einer Kameraeinstellung
 - Transformation aller Bilder in ein gemeinsames Koordinatensystem
2. Erzeugung eines Hintergrundbildes
3. Segmentierung eines Objektes durch Vergleich der transformierten Bilder mit dem Hintergrundbild

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

12

Kamerabewegung zwischen beliebigen Bildern (1)

Annahme

- Für zwei aufeinander folgende Bilder i und $i+1$ einer Kameraeinstellung sind die Parameter des Kameramodells $T_{i,i+1}$ bekannt

Gesucht

- Kameramodell zwischen beliebigen Bildern: T_{ij}
- Wird ein Bild i mit T_{ij} transformiert, so ist Bild i passend zu dem Referenzbild j ausgerichtet.
- Ein Hintergrundbild wird erzeugt, indem jedes Bild i der Kameraeinstellung mit T_{ij} transformiert wird.

13

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Kamerabewegung zwischen beliebigen Bildern (2)

Berechnung des Kameramodells T_{ij} (für $i < j$)

- Die Transformationen $T_{i,i+1}$ sind bekannt. Beliebige Koordinaten (x, y) im Bild i werden ausgewählt und mit $T_{i,i+1}$ auf die neue Position (x', y') transformiert.
- (x', y') wird mit $T_{i+1,i+2}$ transformiert und ergibt die Position (x'', y'') im Bild $i+2$.
- Der Bewegungsvektor von (x, y) nach (x'', y'') entspricht der Verschiebung eines Hintergrundpixels über zwei Bilder.

14

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Kamerabewegung zwischen beliebigen Bildern (3)

Berechnung des Kameramodells T_{ij} (für $i < j$)

- Vier unterschiedliche Punkte werden mit $T_{i,i+1}$ und $T_{i+1,i+2}$ transformiert und ergeben vier Bewegungsvektoren.
- Diese vier Vektoren ermöglichen eine eindeutige Berechnung der acht Parameter des Kameramodells $T_{i,i+2}$.
- Mit dem gleichen Verfahren können für beliebige Bilder i und j ($i < j$) alle Transformationen T_{ij} berechnet werden.

15

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Kamerabewegung zwischen beliebigen Bildern (4)

Berechnung des Kameramodells T_{ij} (für $i > j$)

- Um aus der Transformation T_{ij} die inverse Transformation T_{ji} abzuleiten, werden vier Bewegungsvektoren von Bild i nach j bestimmt.
- Die Richtungen der vier Bewegungsvektoren werden umgedreht, d. h. Startpunkte und Endpunkte werden vertauscht.
- Die vier Vektoren definieren durch Lösen des Gleichungssystems die Transformation T_{ji} .

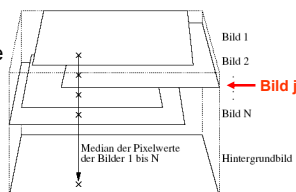
16

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Transformation eines Bildes (1)

Idee

- Ein beliebiges Bild j der Kameraeinstellung wird als Referenzbild ausgewählt, an dem alle anderen Bilder ausgerichtet werden sollen.
- Der Bildhintergrund ist deckungsgleich, falls Bild i wird mit T_{ij} transformiert wird.



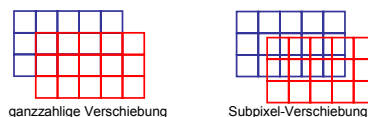
17

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Transformation eines Bildes (2)

Vorgehensweise bei der Erstellung eines Hintergrundbildes

- Jedem Pixel des Hintergrundbildes wird ein Pixelwert aus den transformierten Bildern zugeordnet.
- Die inverse Transformation T_{ji} liefert – ausgehend von der Pixelposition (x', y') im Hintergrundbild – die Position (x, y) im ursprünglichen Bild.
- Jedem Pixel an der Position (x', y') im transformierten Bild i' wird der Helligkeitswert an der Position (x, y) aus dem ursprünglichen Bild zugewiesen.
- (x, y) entspricht jedoch nicht genau einer ganzzahligen Pixelposition, sondern wird im Allgemeinen zwischen vier Pixeln liegen.



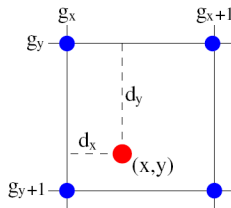
18

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Transformation eines Bildes (3)

Lineare Interpolation

- g_x und g_y : ganzzahliger Anteil von x bzw. von y
- Rest:
 $d_x := x - g_x$
 $d_y := y - g_y$
- Helligkeit I' im transformierten Bild



$$I'(x', y') = [(1-d_x) \cdot I(g_x, g_y) + d_x \cdot I(g_x + 1, g_y)] \cdot (1-d_y) + [(1-d_x) \cdot I(g_x, g_y + 1) + d_x \cdot I(g_x + 1, g_y + 1)] \cdot d_y$$

19

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Transformation eines Bildes (4)

Merkmale der linearen Interpolation

- Je weiter das Pixel (x, y) von einer ganzzahligen Pixelposition entfernt ist, desto größer ist der Einfluss der anderen Pixel auf die Helligkeit des Pixels.
- Durch die hohe Genauigkeit der Ausrichtung der Bilder mit der linearen Interpolation ist eine exakte Segmentierung von Objekten möglich.
- Die Unschärfe nimmt bis zu einer Verschiebung von 0,5 Pixel zu (Glättung des Bildes).
- Für Panoramabilder in hohen Auflösungen sind Unschärfen und fehlerhafte Farben nicht akzeptabel und die Interpolation somit nicht geeignet.

Vermeidung von Unschärfe

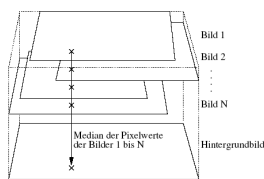
- Statt des interpolierten Wertes wird der Helligkeitswert des nächstgelegenen Pixels verwendet.
- Damit ist der Nachteil verbunden, dass lediglich eine Verschiebung um ganzzahlige Werte möglich ist und die Genauigkeit der Transformation abnimmt.

20

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (1)

- In einem Hintergrund- oder Panoramabild sollen Vordergrundobjekte nicht oder höchstens einmal enthalten sein.
- Alle N Bilder einer Kameraeinstellung werden transformiert:
 - Als Auswahl für jedes Pixel im Hintergrundbild stehen bis zu N Pixel aus den transformierten Bildern zur Verfügung.
 - Der Median liefert einen guten Wert für die Hintergrundpixel.



21

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (2)

Berechnung des Medians

- Füge Pixel aller ausgerichteten Bilder an einer Position in Liste ein, sortiere Liste und wähle mittleres Element der Liste als Median aus
→ hoher Rechenaufwand pro Pixel: $O(N \log N)$

Verbesserung

- Erzeuge aus den Pixelwerten an einer Bildposition ein Histogramm.
- Durchlaufe Histogramm aufsteigend und summiere die Anzahl der Pixel.
- Der Median entspricht dem Indexeintrag, bei dem die Summe die Hälfte aller Pixel des Histogramms überschreitet.

22

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (3)

Annahme

- Mindestens die Hälfte der Pixel beschreibt den Bildhintergrund
→ Der Median dieser N Helligkeitswerte ist eine gute Heuristik für ein Hintergrundpixel.

Problem

- Objekt bewegt sich so langsam durch das Bild, dass einzelne Objektpixel mehr als die Hälfte der Zeit an einer Pixelposition verweilen
→ fehlerhafte Bereiche entstehen in den Hintergrundbildern.

23

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (4)

Bsp: Hintergrundbild mittels gewichteter Mittelwerte



Originalvideo

Gewichtung der letzten 10 Bilder

24

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image SegmentationDr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IVUNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (5)

Bsp: Hintergrundbild durch Berechnung des Medians



Fehler durch langsame Objektbewegung

25

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (6)

Verbesserung der Segmentierung durch Differenzbilder

- Vergleich zweier benachbarter und durch die Transformation entsprechend ausgerichteter Bilder
→ Objektbewegungen führen zu Bildunterschieden in mindestens zwei Regionen
- Schätzung der Position und Größe des Objektes durch den Schwerpunkt (S_x, S_y) der Differenzpixel $D(x, y)$:

$$S_x = \frac{1}{\sum_{x,y} D(x,y)} \sum_{x,y} x \cdot D(x,y) \quad S_y = \frac{1}{\sum_{x,y} D(x,y)} \sum_{x,y} y \cdot D(x,y)$$

- Festlegung eines Rechtecks um den Schwerpunkt (S_x, S_y) abhängig von den Varianzen der Positionen der Differenzpixel.

26

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Konstruktion von Hintergrundbildern (7)



27

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Segmentierung von Objekten (1)

- Der Medianfilter entfernt Objekte des Bildvordergrunds.
- Die Segmentierung eines Objektes erfolgt durch den Vergleich des transformierten Bildes mit dem Hintergrundbild.
- Die Position und Form der Objektes im ursprünglichen Bild der Kameraeinstellung wird durch die inverse Transformation ermittelt.
- Fehler der Segmentierung im Bereich der Objektgrenzen werden durch die morphologischen Operatoren Opening und Closing reduziert.
- Das größte Objekt wird ausgewählt.
- Kanten in den Randbereichen eines Objektes werden als tatsächliche Objektgrenzen verwendet.

28

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Exkurs: Morphologische Operatoren Opening / Closing

$$\text{Dilatation: } D_B(I(x)) = \max \{I(x+r) \mid r \in B\},$$

$$\text{Erosion: } E_B(I(x)) = \min \{I(x+r) \mid r \in B\}.$$

$$\text{Opening: } O_B(x) = D_B[E_B(I(x))],$$

$$\text{Closing: } C_B(x) = E_B[D_B(I(x))].$$



Original Erosion Dilatation Opening Closing

- Opening: Kleine und schmale Objektregionen werden entfernt.
- Closing: Löcher werden gefüllt und Lücken zwischen benachbarten Regionen geschlossen.

29

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Segmentierung von Objekten (2)



Differenzbild nach Anwendung
morphologischer Operatoren Optimierung der Ränder

30

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Ergebnisse

Ursachen für Fehler

- sehr große Objekte
- geringe Objektbewegung
- Objekt nähert sich der Kamera (großes Objekt und Objekt bleibt an Bildposition)
- keine markanten Strukturen im Bildhintergrund
- Schatten eines Objektes
- Objekt und Hintergrund besitzen identische Helligkeitswerte

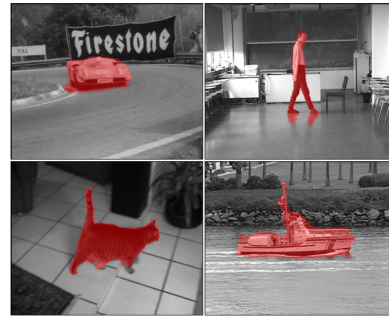
31

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Beispiele segmentierter Objekte



32

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM

Questions ?

33

Image and Video Processing
Chapter 4 - Image Segmentation

Dr. Stephan Kopf
Praktische Informatik IV

UNIVERSITY OF
MANNHEIM