

# Datengetriebenes Lernen der perzeptiven Gruppierung im Competitive Layer Model

Sebastian Weng

Arbeitsgruppe Neuroinformatik  
Technische Fakultät

Universität Bielefeld

July 4, 2006

# Ausblick auf die Präsentation

- 1 Einleitung: Perzeptive Gruppierung und Interaktion
- 2 Competitive Layer Model
- 3 Lernen
  - Gruppierungsprobleme
  - Anwendungsbeispiele

## Ziel der Arbeit

- Perzeptive Gruppierung visueller Merkmale
- Segmentierung von Bildern



- Nutze konvergente Dynamik eines (großen) rekurrenten neuronalen Netzes
- Lernen aus Beispielen

# Gestalt Gesetze [Wertheimer 1923]

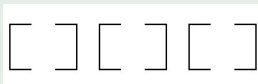
## Nähe



## Ähnlichkeit



## Geschlossenheit



## Gute Fortsetzung



# Gestalt Gesetze [Wertheimer 1923]

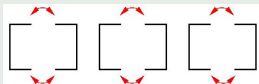
## Nähe



## Ähnlichkeit



## Geschlossenheit



## Gute Fortsetzung



## Anziehung



# Gestalt Gesetze [Wertheimer 1923]

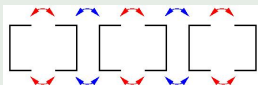
## Nähe



## Ähnlichkeit



## Geschlossenheit



## Gute Fortsetzung



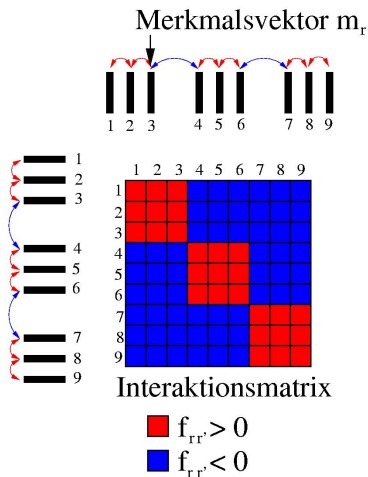
## Anziehung



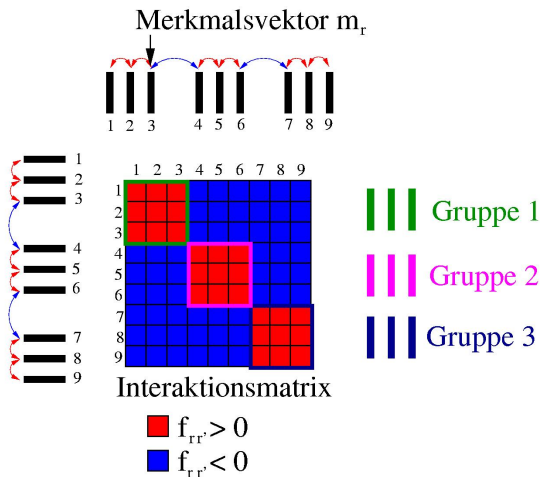
## Abstoßung



# Perzeptive Gruppierung und Interaktion



# Perzeptive Gruppierung und Interaktion





# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

- 1 Eingabe einer Menge von Merkmalsvektoren



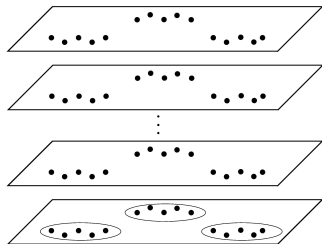
**Eingabe: Merkmalsvektor  $\mathbf{m}_r$**

Beispiele:

- Ort:  $\mathbf{m}_r = (x_r, y_r)^T$
- Ort + Kantenrichtung:  
 $\mathbf{m}_r = (x_r, y_r, \phi_r)^T$

# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

## 2 Schichtweise Architektur

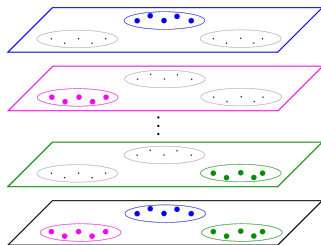


### Neuron $x_{r\alpha}$

- $L$  Schichten  $\alpha = 1, \dots, L$
- topologische Anordnung der Neuronen in Spalten  $r$
- Aktivierung: linear threshold  $\sigma(x) = \max(0, x)$

## Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

- 3 Ziel: Aktivierung der Gruppen in verschiedenen Schichten



**Label  $\hat{\alpha}(r)$**

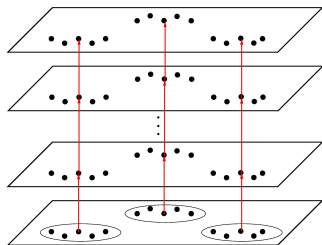
● :  $\hat{\alpha}(r) = 1$

● :  $\hat{\alpha}(r) = 2$

● :  $\hat{\alpha}(r) = L$

# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

## ④ Spaltenweise Aktivierung durch konstanten Bias

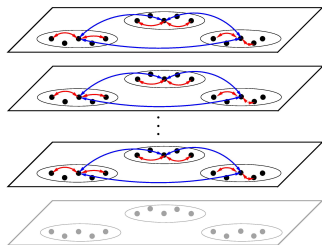


### Bias $h_r$

- Gesamtaktivität pro Spalte
- interpretierbar als Signifikanz von Merkmal  $m_r$

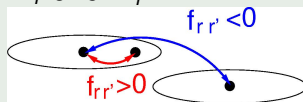
# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

- 5 Laterale Interaktion  $f_{rr'}$  erzeugt Gruppierung



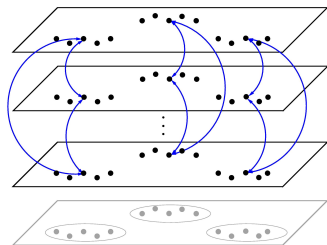
## Laterale Interaktion $f_{rr'}$

$f_{rr'}$  – Kompatibilität der Merkmale  $\mathbf{m}_r$  und  $\mathbf{m}_{r'}$

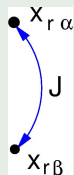


# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

- ⑥ Vertikale Konkurrenz erzeugt WTA-Verhalten

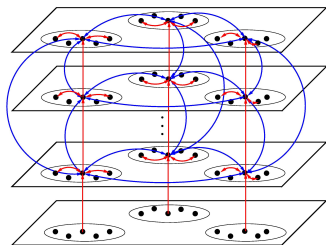


## Vertikale Inhibition $J$



# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

## 7 Simulation der Dynamik

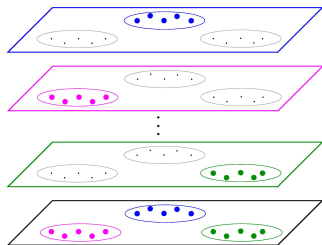


### Dynamik

$$\dot{x}_{r\alpha} = -x_{r\alpha} + \sigma\left(J(h_r - \sum_{\beta} x_{r\beta}) + \sum_{r'} f_{rr'} x_{r'\alpha}\right)$$

# Competitive Layer Model (CLM) [Ritter 1990]

- 8 Attraktor beschreibt die Gruppierung

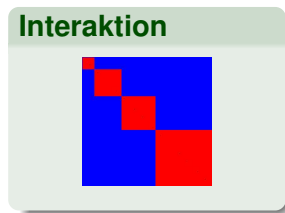


**Theorie zur Dynamik**

[Wersing et al. 2001]



# Robustheit der Gruppierung

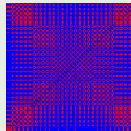


# Robustheit der Gruppierung

Zielgruppierung

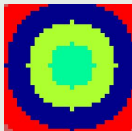


Interaktion

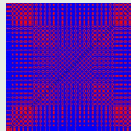


# Robustheit der Gruppierung

Zielgruppierung



Interaktion



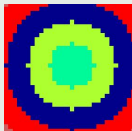
## CLM Attraktorzustand (20 Schichten)

Optimale Interaktion ( $f_{rr'} \in \{-1, 1\}$ )

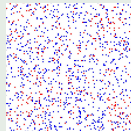


# Robustheit der Gruppierung

Zielgruppierung



Interaktion



## CLM Attraktorzustand (20 Schichten)

90% Verbindungen gelöst

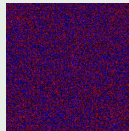


# Robustheit der Gruppierung

Zielgruppierung



Interaktion



## CLM Attraktorzustand (20 Schichten)

90% Verbindungen zufällig reinitialisiert  $[-1,1]$

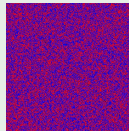


# Robustheit der Gruppierung

Zielgruppierung



Interaktion



## CLM Attraktorzustand (20 Schichten)

45% Verbindungen Vorzeichenwechsel



## Zwischenfazit

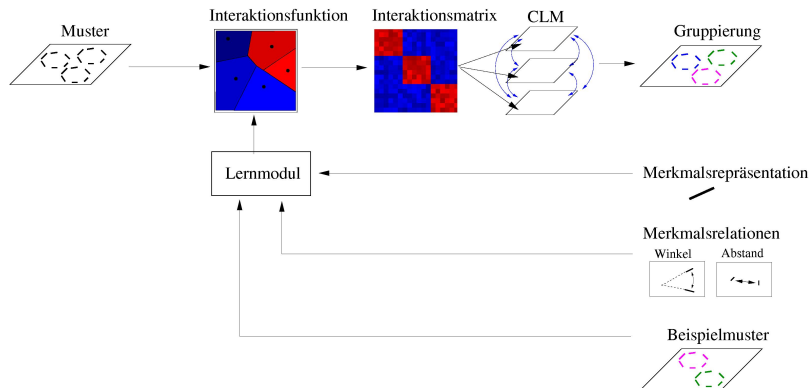
- Merkmale  $\mathbf{m}_r$  bestimmt Interaktion  $f_{rr'}$
- Interaktion beschreibt Gruppierung
- CLM erzeugt Gruppierung aus Interaktion

## Zwischenfazit

- Merkmale  $\mathbf{m}_r$  bestimmt Interaktion  $f_{rr'}$
  - Interaktion beschreibt Gruppierung
  - CLM erzeugt Gruppierung aus Interaktion
  
  - Wie kann die Interaktion gelernt werden?
  - hohe Robustheit des CLM gegenüber Störungen in Interaktion
- Lernen der Interaktion muss nicht exakt sein

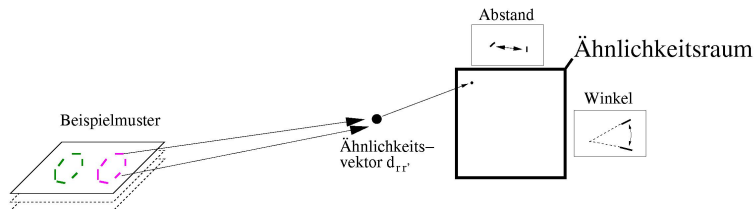


# Lernen [Weng et al. 2006]



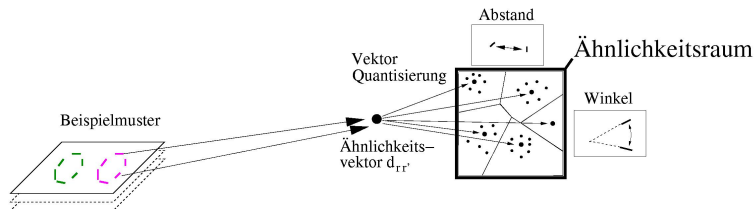
# Das Lernmodul

## 1 Merkmalsrelationen definieren Ähnlichkeitsraum



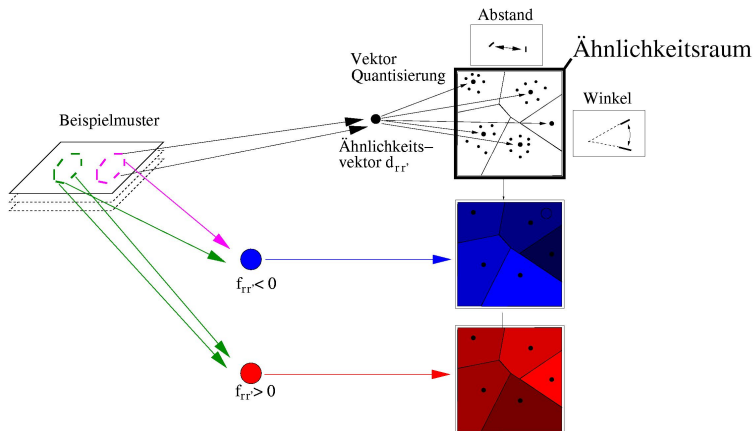
# Das Lernmodul

## ② Vektor-Quantisierung im Ähnlichkeitsraum



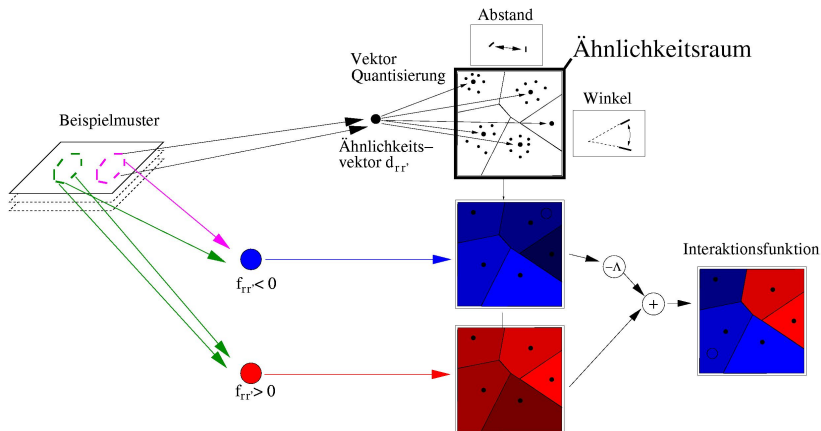
# Das Lernmodul

- ③ Zähle Anzahl positiver und negativer Interaktionen je Prototyp

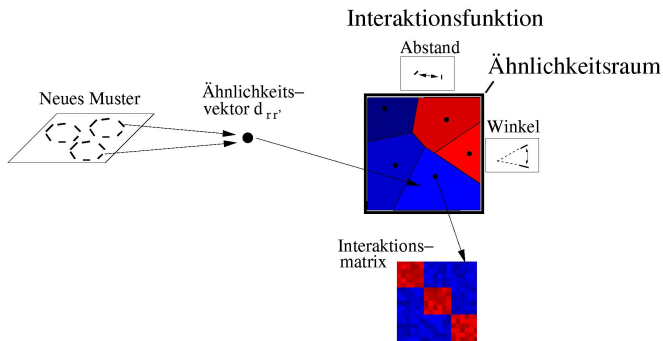


# Das Lernmodul

## 4 Lineare Kombination dieser Histogramme

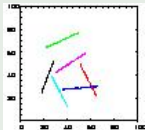


# Anwendung der Interaktionsfunktion



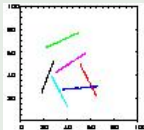
# Konturgruppierung

## Beispielmuster



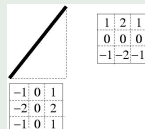
# Konturgruppierung

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

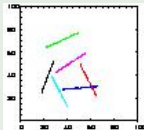
$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{o}_r \end{pmatrix}$$





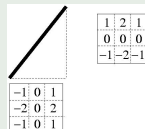
# Konturgruppierung

## Beispielmuster



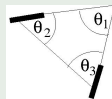
## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{o}_r \end{pmatrix}$$



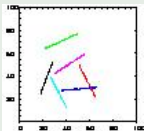
## Merkmalsrelationen

$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \|\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}\| \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{pmatrix}$$



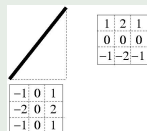
# Konturgruppierung

## Beispielmuster



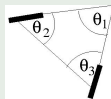
## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{o}_r \end{pmatrix}$$

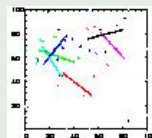
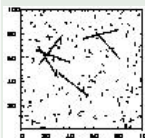


## Merkmalsrelationen

$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \|\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}\| \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{pmatrix}$$

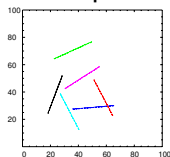


## Gruppierung

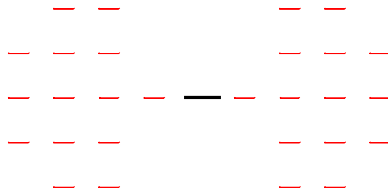


# Linie

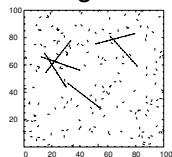
Beispiel



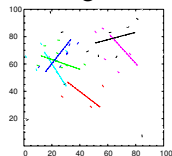
Erlernte Interaktion



Eingabe

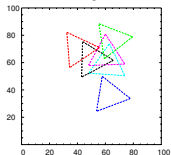


Ausgabe

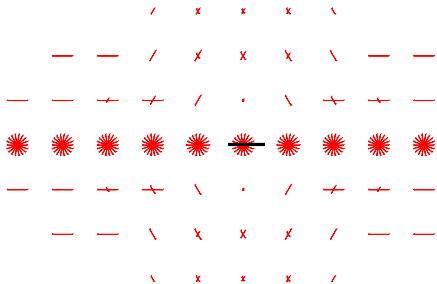


# Dreieck

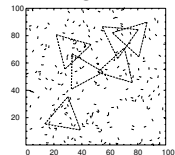
Beispiel



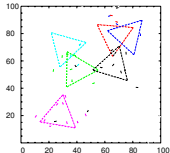
Erlernte Interaktion



Eingabe

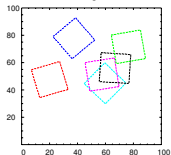


Ausgabe

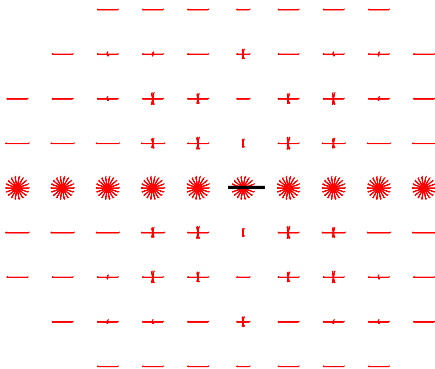


# Quadrat

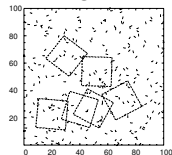
Beispiel



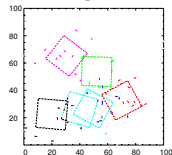
Erlernte Interaktion



Eingabe

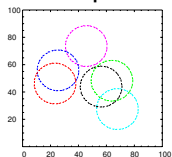


Ausgabe

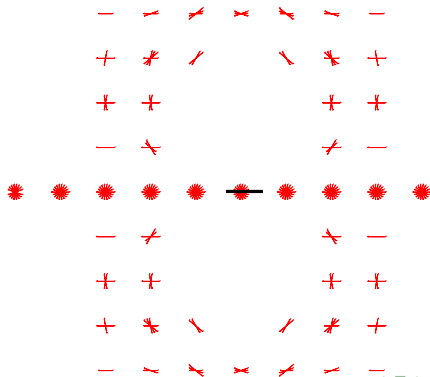


# Kreis

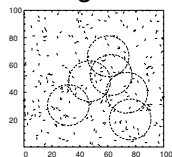
Beispiel



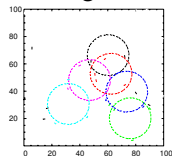
Erlernte Interaktion



Eingabe

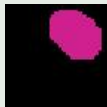
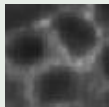


Ausgabe



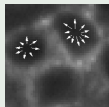
# Zellbildsegmentierung [Nattkemper et al. 2002]

## Beispielmuster



# Zellbildsegmentierung [Nattkemper et al. 2002]

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

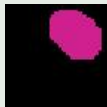
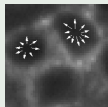
$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{s}_r \end{pmatrix}$$





# Zellbildsegmentierung [Nattkemper et al. 2002]

## Beispielmuster



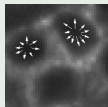
## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{s}_r \end{pmatrix}$$



# Zellbildsegmentierung [Nattkemper et al. 2002]

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{s}_r \end{pmatrix}$$



## Merkmalsrelationen

$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \|\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}\| \\ \mathbf{s}_r^T \mathbf{s}_{r'} \\ (\mathbf{s}_r - \mathbf{s}_{r'})^T (\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}) \end{pmatrix}$$

# Zellbildsegmentierung [Nattkemper et al. 2002]

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{s}_r \end{pmatrix}$$



## Merkmalsrelationen

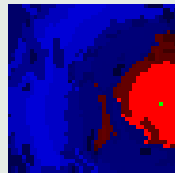
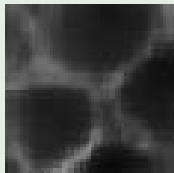
$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \|\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}\| \\ \mathbf{s}_r^T \mathbf{s}_{r'} \\ (\mathbf{s}_r - \mathbf{s}_{r'})^T (\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}) \end{pmatrix}$$

## Gruppierung



# Zellbildsegmentierung

## Erlernte Interaktion



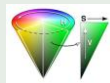
# Farbbildsegmentierung

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

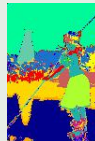
$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ h_r \\ s_r \\ v_r \end{pmatrix}$$



## Merkmalsrelationen

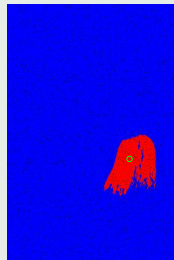
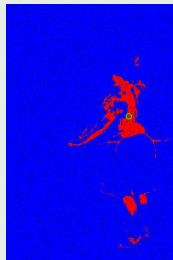
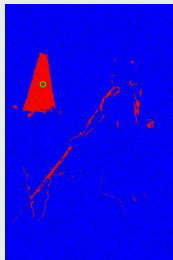
$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \| \mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'} \| \\ |h_r - h_{r'}| \\ |s_r - s_{r'}| \\ |v_r - v_{r'}| \end{pmatrix}$$

## Gruppierung



# Farbbildsegmentierung

## Erlernte Interaktion



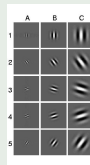
# Textursegmentierung [Ontrup et al. 2004]

## Beispielmuster



## Merkmalsrepräsentation

$$\mathbf{m}_r = \begin{pmatrix} \mathbf{p}_r \\ \mathbf{g}_r \end{pmatrix}$$



## Merkmalsrelationen

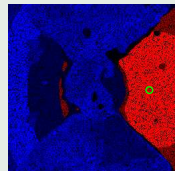
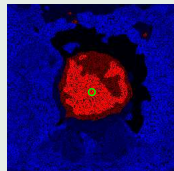
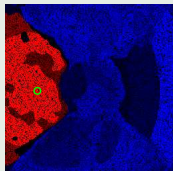
$$\mathbf{d}_{rr'} = \begin{pmatrix} \|\mathbf{p}_r - \mathbf{p}_{r'}\| \\ \|\mathbf{g}_r - \mathbf{g}_{r'}\| \end{pmatrix}$$

## Gruppierung



# Textursegmentierung

## Erlernte Interaktion





# Abschließendes Fazit zur Gruppierung

- 1 Lösung verschiedener Gruppierungsprobleme durch Lernen

# Abschließendes Fazit zur Gruppierung

- 1 Lösung verschiedener Gruppierungsprobleme durch Lernen
- 2 Anwendung auf verschiedene Informationsmodalitäten  
Farbe, Form, Textur

# Abschließendes Fazit zur Gruppierung

- 1 Lösung verschiedener Gruppierungsprobleme durch Lernen
- 2 Anwendung auf verschiedene Informationsmodalitäten  
Farbe, Form, Textur
- 3 Lernen aus einem einzelnen Beispiel

# Literatur

- [Wertheimer 1923] M. Wertheimer:  
**Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II**  
Psychologische Forschung 4 (1923) S. 301-350.
- [Ritter 1990] H. Ritter:  
**A Spatial Approach to Feature Linking**  
Proc. International Neural Network Conference Paris Vol. 2 (1990), pp. 898-901.
- [Chung et al. 1994] P. C. Chung, C.T. Tsai, E. L. Chen, Y. N. Sun:  
**Polygonal Approximation Using a Competitive Neural Network**  
Pattern Recognition Vol. 27(1) (1994), pp. 1505-1512.
- [Wersing 2001] H. Wersing:  
**Learning Lateral Interactions for Feature Binding and Sensory Segmentation** Conference on Neural Information Processing: Natural and Synthetic NIPS (2001), Vancouver, pp. 1009-1016.
- [Wersing et al. 2001] H. Wersing, J. J. Steil, H. Ritter:  
**A Competitive Layer Model for Feature Binding and Sensory Segmentation**  
Neural Computation 13(2) (2001), pp. 357-387.
- [Nattkemper et al. 2002] T. W. Nattkemper, H. Wersing, H. Ritter, W. Schubert:  
**A Neural Network Architecture for Automatic Segmentation of Fluorescence Micrographs**  
Neurocomputing, 48, (4), (2002), pp. 357-367.

# Literatur

- [Köhler 2003] T. Köhler:  
**Implementierung eines neuronalen Schichtmodells auf rekonfigurierbarer Hardware**  
Diplomarbeit (2003), Technische Fakultät, Universität Bielefeld.
- [Ontrup et al. 2004] J. Ontrup, H. Wersing, H. Ritter:  
**A Computational Feature Binding Model of Human Texture Perception**  
Cognitive Processing 5(1), (2004), pp. 32-44.
- [Tang et al. 2004] H. Tang, K. C. Tan, Z. Yi:  
**A Columnar Competitive Model for Solving Combinatorial Optimization Problems**  
IEEE Trans. on Neural Networks 15(6) (2004), pp. 1568-1573.
- [Weng et al. 2006] S. Weng, H. Wersing, J. J. Steil, H. Ritter:  
**Learning Lateral Interactions for Feature Binding and Sensory Segmentation from Prototypic Basis Interactions**  
accepted by IEEE Trans. on Neural Networks, appears May 2006.

„Danke für Ihre Aufmerksamkeit!“