



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Bewegungsanalyse in spatio-temporalen Systemen

Florian J. Ocker  
Anwendungen 2 –SoSe 2012

# Agenda

---

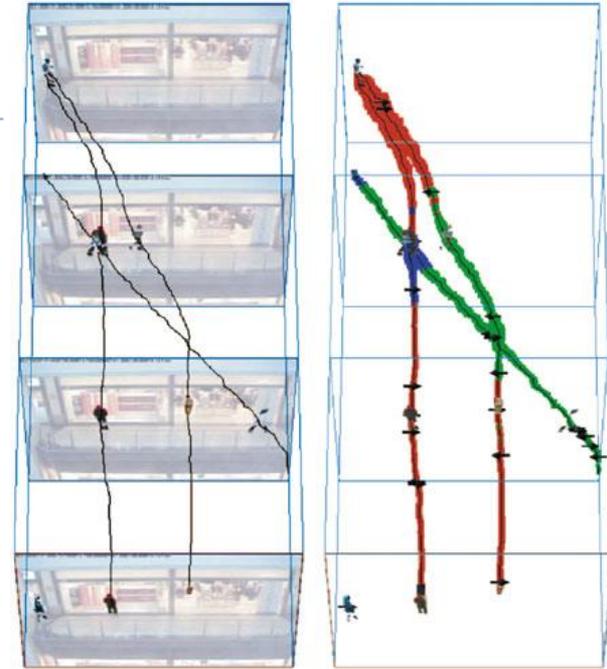
- ▶ Einführung & Rückblick
- ▶ Projekt 1
- ▶ Related Works
  - ▶ Taxonomy of Movement Pattern
  - ▶ ReMo
  - ▶ MOUT
- ▶ Abgrenzung

# Einführung

# Rückblick

---

- ▶ Visuelle Analytik
  - ▶ Automatische Analyse
  - ▶ Visualisierung
  - ▶ Nutzergesteuerte Interaktion



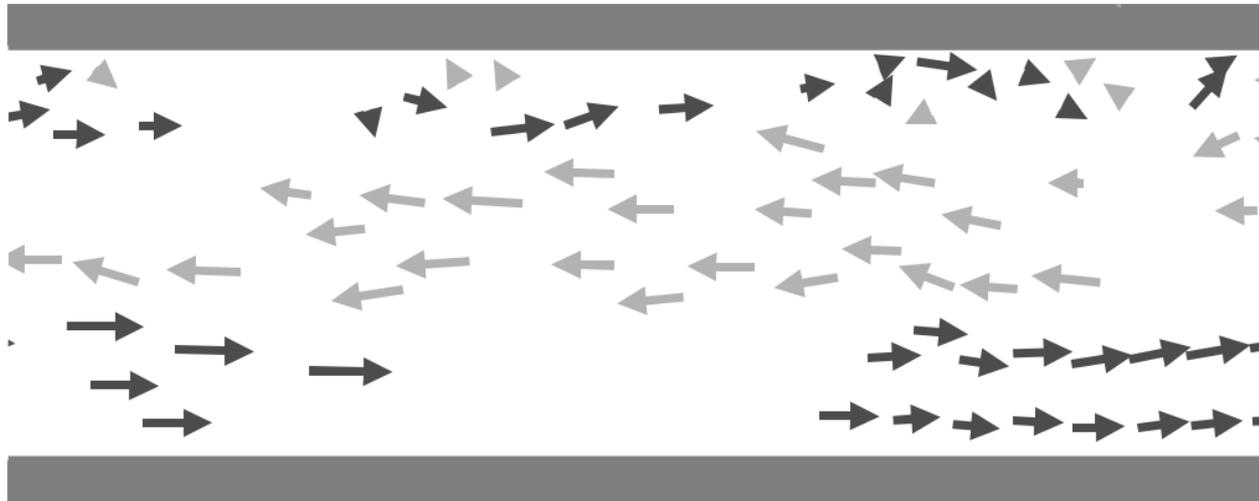
Personentrajektorien in einem Raumzeit-Volumen [8]

- ▶ Trajektorien repräsentieren Bewegung
- ▶ Darstellung als Raumzeit-Volumen
- ▶ Interpretation durch Diagrammnotationen

# Einführung

---

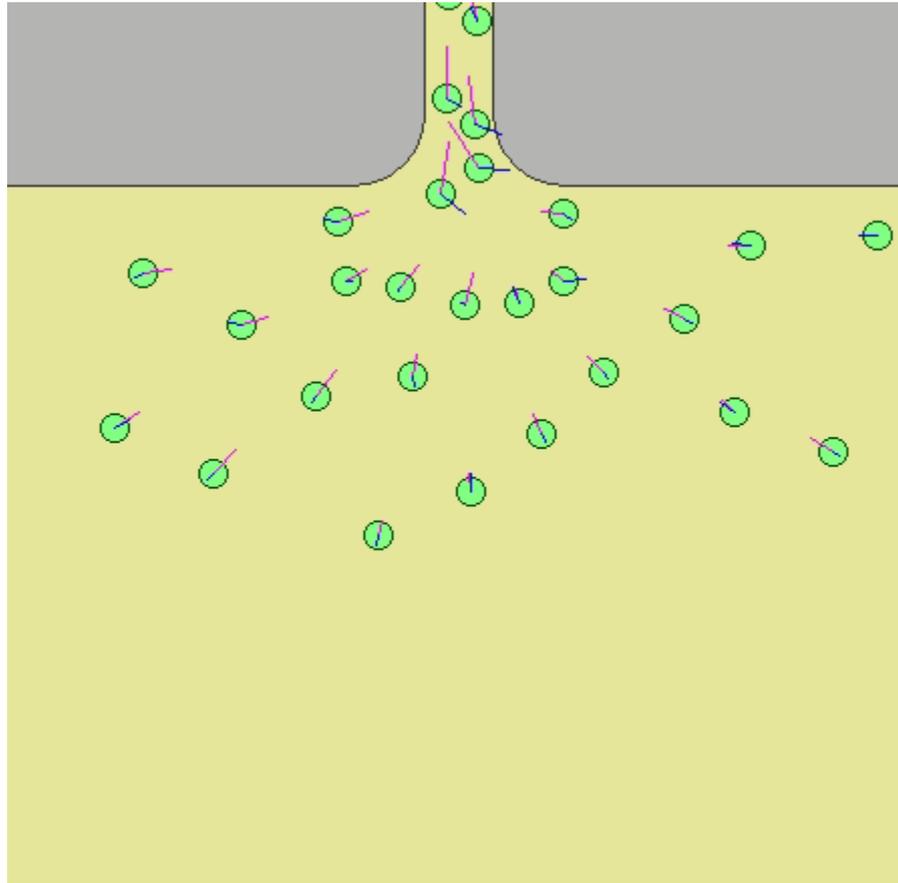
- ▶ Kontext: WALK
- ▶ Bewegungsanalyse von Fußgängern
- ▶ Validierung der Simulation
- ▶ Visualisierung der Phänomene



Lane formation [7]

# Einführung

---



Queuing [w1]

# Projekt 1

# Projekt 1

---

- ▶ Identifikation von spatio-temporalen Strukturen
  - ▶ Gruppenstrukturen
  - ▶ Verhaltensmuster
- ▶ Bewegungsmuster innerhalb von Bewegungswolken
  
- ▶ „Exploration and Explanation“ [5]
  - ▶ Hypothesen über Phänomene
  - ▶ Testen und Erklären

# Projekt 1

---

- ▶ Beurteilung von Positionsveränderung braucht ein Bezugssystem (z.B. Koordinatensystem)
- ▶ Phänomene können auch anhand anderen Parametern entdeckt werden
  - ▶ Geschwindigkeit und Beschleunigung
  - ▶ Dichte und Dichtegefälle
  - ▶ Ungewöhnliches Verhalten (Abweichung, Zielverfolgung)
- ▶ Erste Versuche: Bewegungsdaten automatisiert zu analysieren

# Projekt 1

---

- ▶ In welcher Form müssen Daten vorliegen?
  - ▶ Objekte als Punkte im Raum (Moving Point Object/MPO)
  - ▶ Trajektorien und abgeleitete Parameter
- ▶ Data Mining oder Diagrammnotation gestützte Analyse
  - ▶ große Datenmengen aggregieren
  - ▶ sinnvolle Informationen zu extrahieren
- ▶ Visualisierung der Muster

# Taxonomy of Movement Pattern

Dodge et al. [1]

# Systematik von Bewegungsmustern

---

- ▶ Bewegungsanalyse ist Schwerpunktthema in Geoinformatik
- ▶ Definition von generischen Algorithmen
  - ▶ Wiederverwendbarkeit bei Verhaltensmustern
  - ▶ Effektivität und Effizienz
- ▶ Beschränkung auf Moving Point Objects (MPO)

Generally, movement patterns include any recognizable spatial and temporal regularity or any interesting relationship in a set of movement data, whe-

[1]

# Bewegungsparameter

<b>Parameters Dimension</b>	<b>Primitive</b>	<b>Primary derivatives</b>	<b>Secondary derivatives</b>
<b>Spatial</b>	Position $(x,y)$	Distance $f(posn)$	Spatial distribu- tion $f(distance)$
		Direction $f(posn)$	Change of direc- tion $f(direction)$
		Spatial extent $f(posn)$	Sinuosity $f(distance)$
<b>Temporal</b>	Instance $(t)$	Duration $f(t)$	Temporal distribution
	Interval $(t)$	Travel time $f(t)$	Change of dura- tion $f(duration)$
<b>Spatio- temporal (x, y,t)</b>	—	Speed $f(x,y,t)$	Acceleration $f(speed)$
		Velocity $f(x,y,t)$	Approaching rate

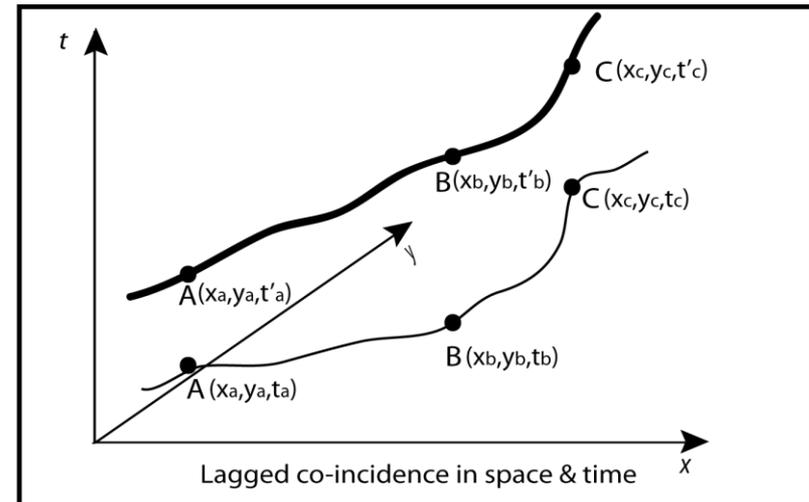
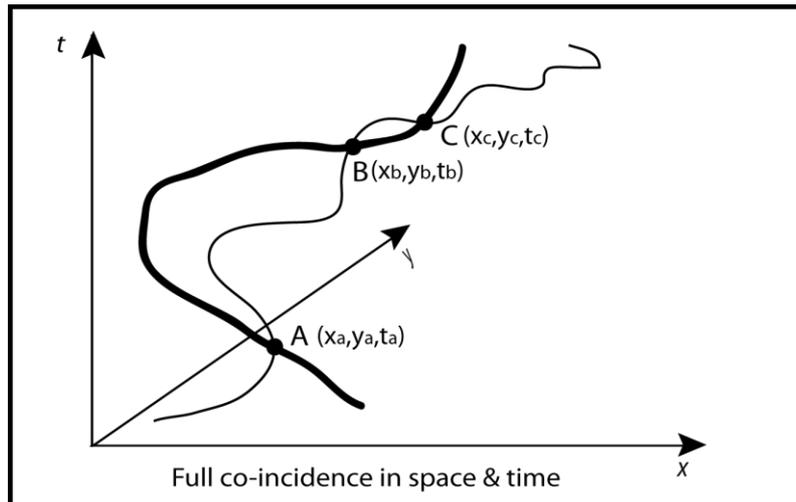
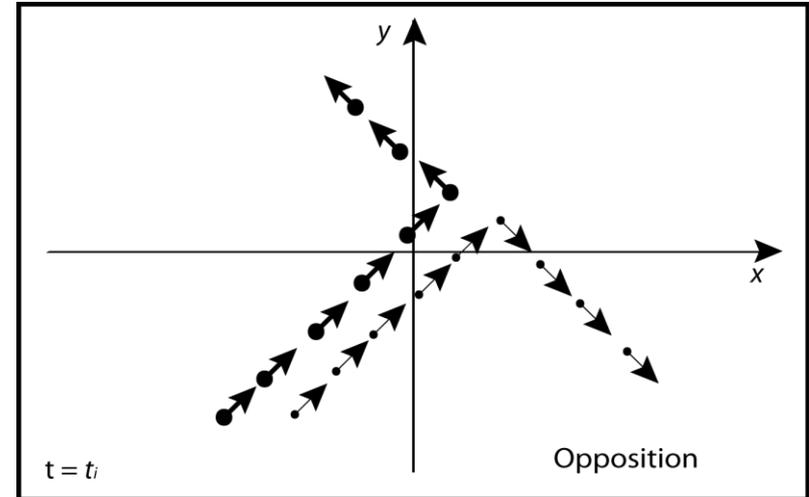
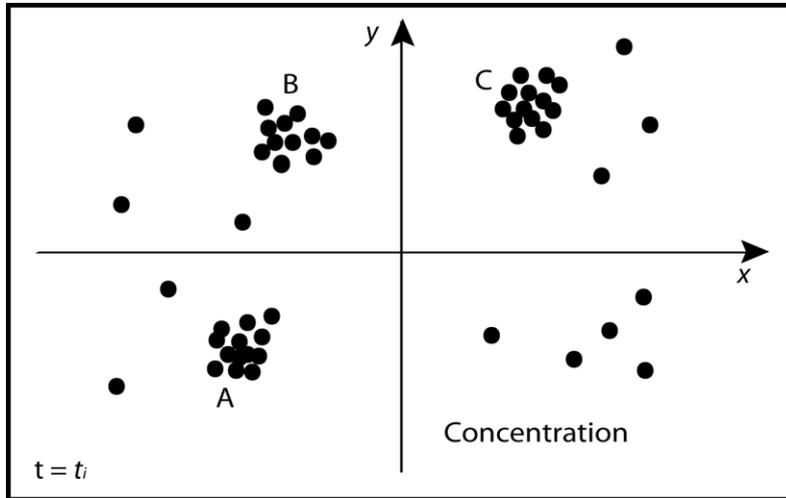
[1]

# Randbedingungen

---

- ▶ **Kontinuierlicher vs. Diskontinuierlicher Pfad**
  - ▶ „stop-and-go“-Bewegung
- ▶ **Einflussfaktoren**
  - ▶ Intrinsische Eigenschaften
  - ▶ Spatiale Einschränkungen
  - ▶ Umgebung (anziehende und abstoßende Kräfte)
  - ▶ Andere Agenten
    - ▶ Gruppenzugehörigkeit
    - ▶ Funktionaler oder statistischer Zusammenhalt

# Bewegungsmuster

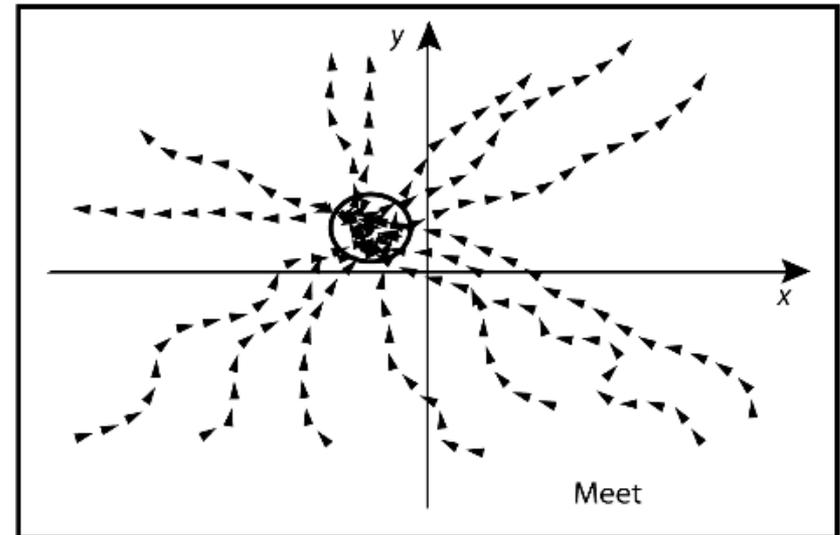
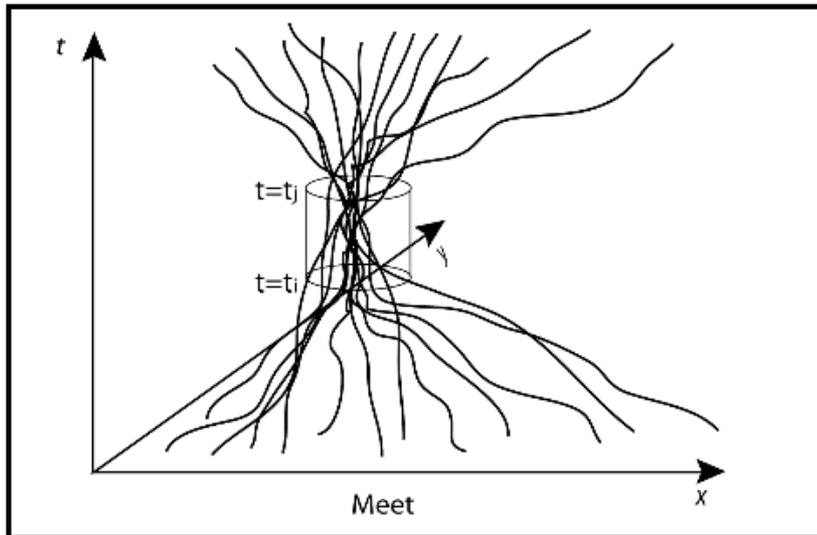


[w2]

# Muster: Meet

Given a set of  $n$  trajectories of entities in the plane, where each trajectory consists of  $\tau$  line segments, a meeting in a time interval  $I$ , where the duration of  $I$  is at least  $k$ , consists of at least  $m$  entities that stay within a stationary disk of radius  $r$  during  $I$  (note that  $m \in \mathbb{N}$ ,  $k \in \mathbb{R}$  and  $r > 0$  are given constants).

[4]



[w2]

# Generische Muster mittels Bewegungsparameter

Generic patterns		Primitive param.		Primary derivatives				Secondary derivatives		Applicable to		Dimension			
		Position	Instance	Distance $f(x,y)$	Direction $f(x,y)$	Speed $f(x,y,t)$	Duration	Curvature	Acceleration	Individual MPO	Multiple MPOs	Spatial (x)	Temporal (t)	Spatio-temporal (x,y,t)	
Primitive Patterns	Co-location in space	x		x							x				
	Concentration	x		x						x	x	x			
	Concurrence	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Co-incidence in space & time	x	x	x							x			x	
	Opposition	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Dispersion	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Constancy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
	Sequence	x	x				x			x	x		x		
	Periodicity	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
	Meet	x	x	x			x				x				x
	Moving cluster	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x
	Temporal relations		x					x			x		x		
Synchronization	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x			
Compound patterns	Isolated object	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Symmetry	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Repetition	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	
	Propagation	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	
	Convergence/ divergence	x	x		x		x				x			x	
	Encounter/ Breakup	x	x	x	x						x			x	
	Trend/ Fluctuation	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	
	Trend-setting	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	

[1]

# Relative Motion (ReMo)

Laube et al. [2]

# ReMo

---

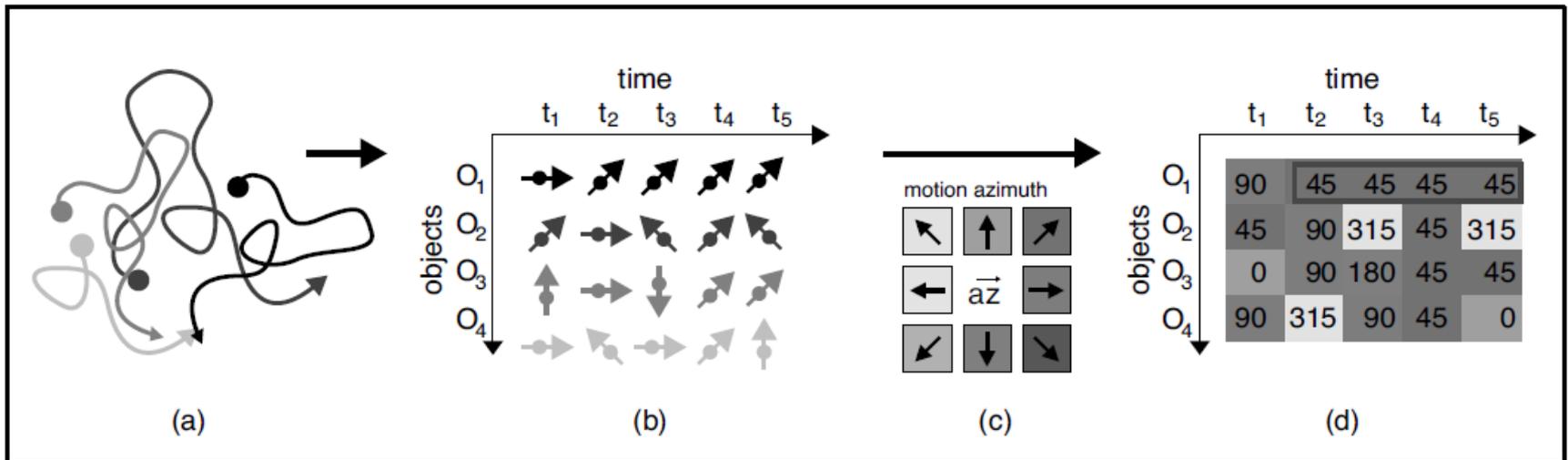
- ▶ Geographic Data Mining
  - ▶ Algorithmen, welche Muster in Daten identifizieren
- ▶ Vergleich von Bewegungsdaten über die Zeit
- ▶ Flexibles Analyse Konzept
- ▶ Basismustern in relativen Bewegungen von MPO-Gruppen
  - ▶ Identifikation
  - ▶ Charakterisierung
  - ▶ Kategorisierung

# ReMo

---

- ▶ Essentielle Reduktion des Informationsraumes
- ▶ Transformation in Matrixstrukturen
  - ▶ Zeit
  - ▶ Objekt
  - ▶ Bewegungsparameter
- ▶ Komplexe Bewegungen in diskrete Substrukturen einteilen
- ▶ Nach Substrukturen effizient suchen
  - ▶ „discrete motion patterns“ auffinden

# ReMo-Analyse-Matrix



[2]

# Muster ohne Nachbarschaftsbeziehungen

Simple patterns		Complex patterns
Patterns over time ↔	Patterns across objects ↓	Patterns over time and across objects ↕
SEQUENCE <i>t:1</i>	INCIDENT <i>1:n</i>	INTERACTION <i>t:n</i>
 constance   turn	 concurrency  bimodality  dispersion	 trend-setter   independent

[2]

# ReMo Muster

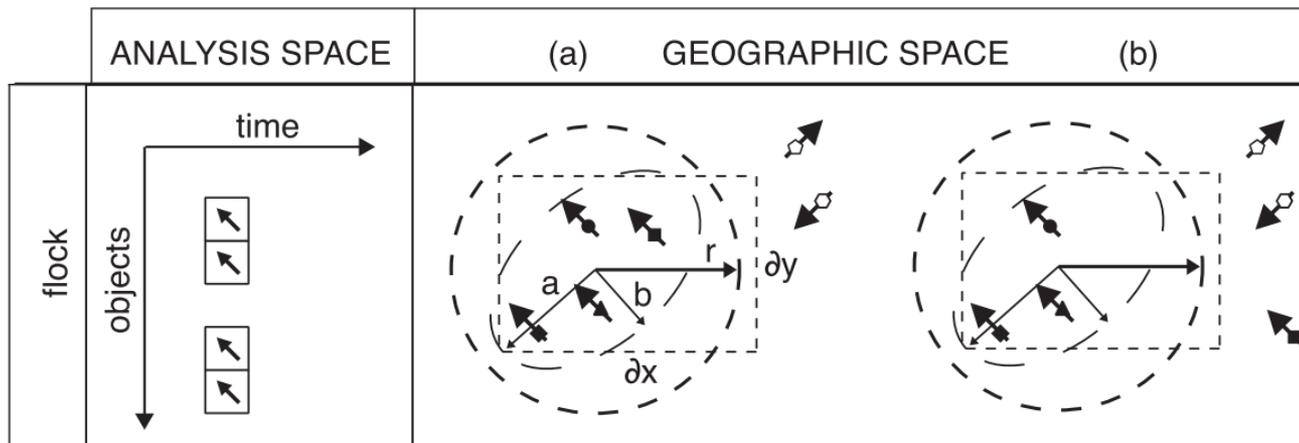
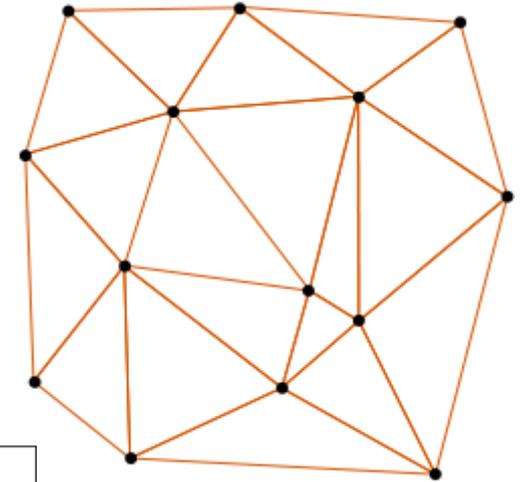
---

- ▶ **Muster über die Zeit (simpel)**
  - ▶ Bewegungsmuster eines Objekts
  - ▶ Wiederholungen oder Trends erkennen
- ▶ **Muster über Objekte (simpel)**
  - ▶ Bewegungen verschiedener Objekte zur selben Zeit
  - ▶ Mustergröße: Anzahl beteiligter Objekte
- ▶ **Kombinierte Muster (komplex)**
  - ▶ Abhängigkeiten zwischen Objektbewegungen finden
  - ▶ Zeitfenster zwischen Ursache und Wirkung (Kausalität)

# ReMo mit Nachbarschaftsbeziehungen

- ▶ Nähebeziehung ist relevant
- ▶ Verschiedene Konzepte
  - ▶ Abstand zum Median
  - ▶ Delauney Triangulation
  - ▶ Bounding Boxes (Kreis oder Ellipse)

Delauney Triangulation [w3]



Flock (Abbildung gekürzt) [6]

# Komplexität

---

- ▶ Basismuster können relativ einfach in linearer Zeit berechnet werden
- ▶ Anzahl Objekte  $n$
- ▶ Anzahl Zeitschritte  $t$ 
  - ▶ Zeitintervall ist vorgegeben und konstant
- ▶  $O(nt)$  für Basismuster
- ▶ Flock(Beispiel)
  - ▶ Alle Punkte (selbe Zeit, selbe Richtung)  $n'$
  - ▶ Objekte mit Nähebeziehung  $m$
  - ▶ Nähebeziehung mittels Voronoi-Diagramm und Radius  $R$
  - ▶  $O(ntm^2 + nt \log n)$

# Military Operations in Urban Terrain (MOUT)

Sukthankar et al. [3]

# MOUT

---

- ▶ Robuste Erkennung von Team Verhalten
- ▶ Relative Position zu Orientierungspunkten
- ▶ Wenige Objekte – bestimmte Verhaltensmuster
  - ▶ Formationen
  - ▶ Bewachung
  - ▶ Zusammenschluss zu Gruppen
- ▶ Beschreibung spatialer Zusammenhänge (spatial models)

# MOUT

---

## ▶ Verhaltensmuster

- ▶ Abfolge von „spatial models“
- ▶ Ohne fixe Reihenfolge
- ▶ Sollen nicht in anderen Verhaltensmustern auftauchen

## ▶ Objektlokalisierung

- ▶ Kleine: Koordinate
- ▶ Große: Gruppe von verknüpften Koordinaten

## ▶ Typen

- ▶ Person, Mitspieler, Gegner, Gefahr, Bereiche, ...

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} s \cos(\theta) & s \sin(\theta) & x \\ -s \sin(\theta) & s \cos(\theta) & y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

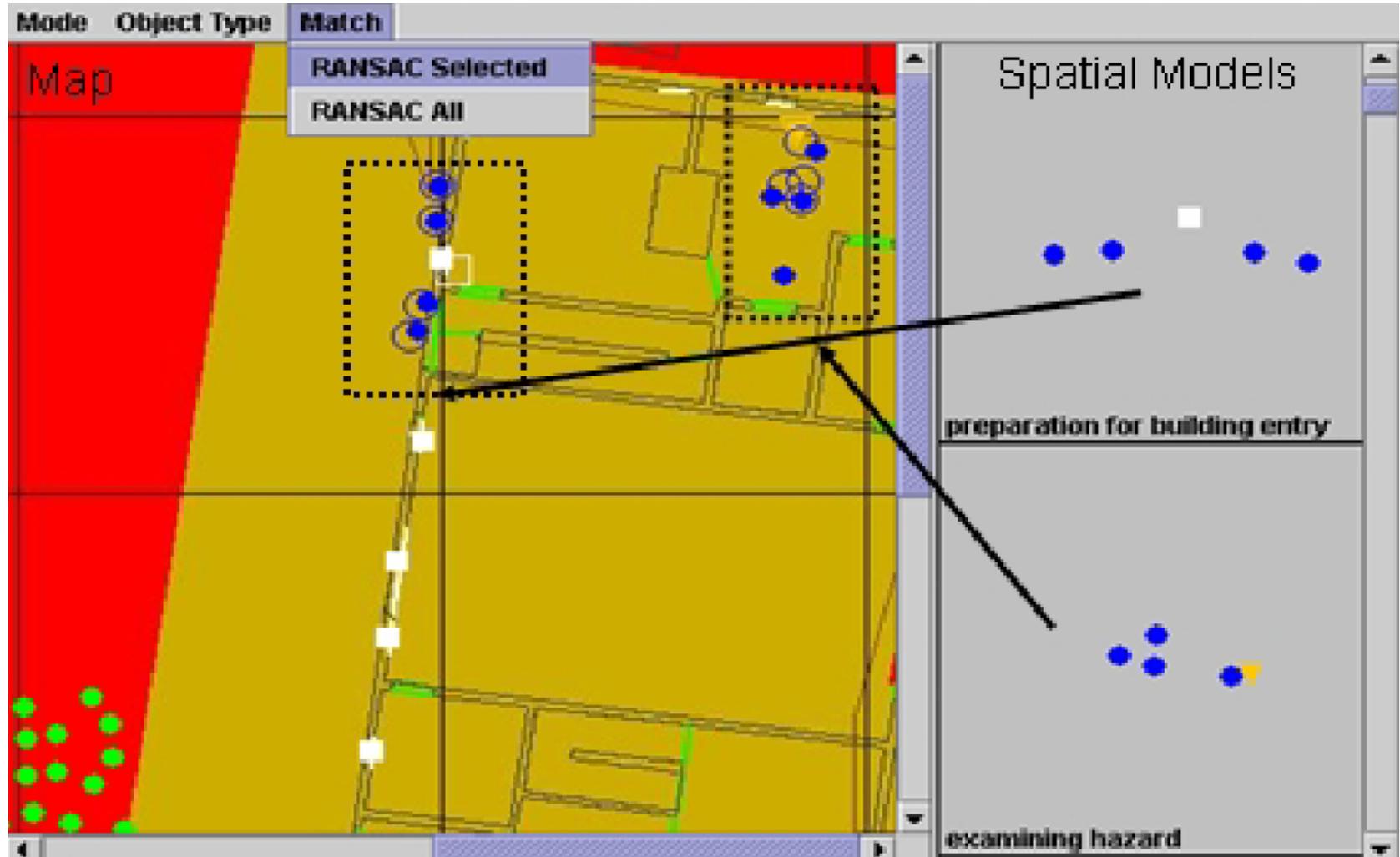
Beschreibung eines Objekts [3]

# MOUT

---

- ▶ Efficient Template Matching
  - ▶ Hypothesen generieren
  - ▶ Hypothesen überprüfen
- ▶ RANSAC (Random Sampling and Consensus)
  - ▶ Beliebige Objekte werden ausgewählt
  - ▶ Vollführung einer Transformation mit naheliegendem Objekt, kompatiblen Typs
  - ▶ Falls Spatial Model gefunden, so verfolge dieses Muster weiter
- ▶ Statistische Durchsuchung des Transformations-Raums

# Spatial model authoring and matching system



[3]

# Abgrenzung

# Abgrenzung

---

- ▶ **Aufbereitung der Trajektorien**
  - ▶ Abtastrate hängt von zu untersuchenden Phänomenen ab
  - ▶ Abstraktionsgrad finden
- ▶ **Hypothesen über Verhaltensmuster bestimmen**
  - ▶ Beschreiben und Identifizieren
- ▶ **Validierung**
  - ▶ Weitere Anforderungskriterien
  - ▶ MPO ignoriert Ausdehnungen, Eigenschaften

# Abgrenzung

---

- ▶ **Persönlicher Fokus**
  - ▶ Entdecken und Beschreiben kurzweiliger Phänomene
  - ▶ Fußgängerspezifische Verhaltensmuster
- ▶ **Herausforderung**
  - ▶ Rückschlüsse über innere Zustände der Person
  - ▶ Kausalabhängigkeiten ziehen können
  - ▶ Emergente Eigenschaften
  - ▶ Echtzeitanalyse zur Inidizierung und direkten Visualisierung
  - ▶ Effizienz durch Einbeziehung von Vorwissen
- ▶ **Wer? Wann? Wo?**

# Literaturverzeichnis

---

- [1] Dodge, S., Weibel, R. & Lautenschütz, A.-K. (2008). Towards a Taxonomy of Movement Patterns. *Information Visualization*. *Information Visualization* (2008) 7, 240–252.
- [2] Patrick Laube and Stephan Imfeld. 2002. Analyzing Relative Motion within Groups of Trackable Moving Point Objects. In *Proceedings of the Second International Conference on Geographic Information Science (GIScience '02)*, Max J. Egenhofer and David M. Mark (Eds.). Springer-Verlag, London, UK, 132-144.
- [3] Gita Sukthankar and Katia Sycara, "Robust Recognition of Physical Team Behaviors using Spatio-temporal Models," *Proceedings of Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS)*, May, 2006.
- [4] Gudmundsson, J. & van Kreveld, M. Computing Longest Duration Flocks in Trajectory Data. In: *Proceedings of the 14th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems 2006 (GIS '06)*, 35 – 42.
- [5] Laube, P. (2001). A classification of analysis methods for dynamic point objects in environmental GIS. In Konecny, M., ed., *GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive*, Proc. of the 4th AGILE Conference, Brno, Czech Republic, 19th – 21st April, 2001, 121-134.
- [6] Laube P., van Kreveld M., and Imfeld S. "Finding REMO-Detecting relative motion patterns in geo-spatial lifelines," in *Developments in Spatial Data Handling: Proc. of the 11th International Symposium on Spatial Data Handling 2004*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 201-214.
- [7] Helbing D, Molnár P, Farkas I J, Bolay K, 2001, "Self-organizing pedestrian movement" *Environment and Planning B: Planning and Design* 28(3) 361 – 383
- [8] Weiskopf, D.; Andrienko, G., N.; Bak, P: *Visuelle Bewegungsanalyse in Video- und Geodaten*. In: *Informatik Spektrum* Band 33 Heft 6, Dez 2010, Springer

# Internetquellen

---

- [w1] Reynolds Engineering & Design: <http://www.red3d.com/cwr/steer/Doorway.html> (30.05.2012)
- [w2] Movement Pattern Wiki: <http://movementpatterns.pbworks.com/w/page/21692527/Patterns%20of%20Movement> (30.05.2012)
- [w3] Delaunay-Triangulation: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Delaunay-Triangulation.svg> (30.05.2012)

Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!