

# Probabilistisches Tracking mit dem Condensation Algorithmus

Seminar Medizinische Bildverarbeitung  
Axel Janßen

**„Condensation - Conditional Density Propagation for Visual Tracking“**

Michael Isard, Andrew Blake (Universität Oxford, Großbritannien)

International Journal of Computer Vision 29(1),5-28 (1998)

---

# Agenda

1. Einführung
2. Stochastische Grundlagen
3. Videobeispiele
4. Ablauf des Algorithmus
5. Vergleich Condensation Algorithmus / Kalman Filter
6. Zusammenfassung

---

# 1. Einführung

---

# Motivation

- Ziele
  - Visuelle Verfolgung (*visual tracking*) eines Objektes in einer Videosequenz
  - Effiziente Analyse
    - In Echtzeit bzw.
    - Möglichst nah an Echtzeit
  - Hohe Fehlertoleranz

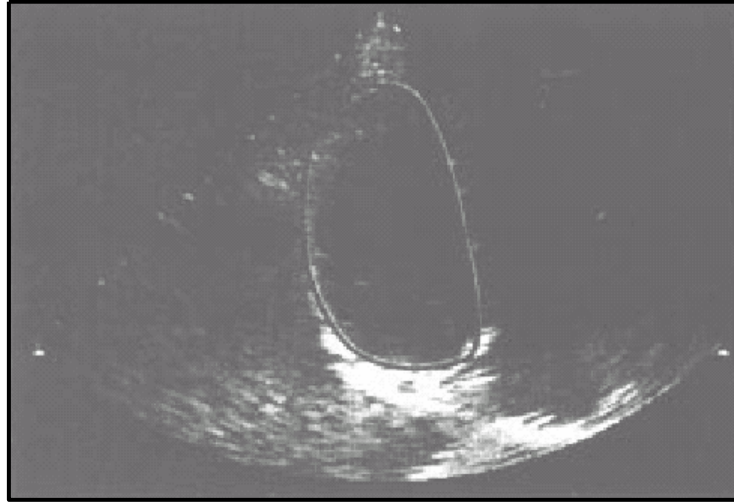
# Mögliche Schwierigkeiten

- **Objektveränderungen**
  - Position und Lage
  - Beschaffenheit und Form
  - Teilweise Überdeckung
  - Temporäres Verschwinden des Objektes
- **Umgebungsveränderungen**
  - Oft wechselnder Hintergrund
  - Umgebung ist dem Objekt sehr ähnlich
  - Beleuchtungsveränderungen innerhalb der Videosequenz

# Lösungsansatz: Condensation-Algorithmus

- „**Conditional Density Propagation** (for visual tracking)“
- Nach Michael Isard und Andrew Blake (1998)
- Sehr erfolgreiches Verfahren in der Bildverarbeitung
  - Hohe Geschwindigkeit (arbeitet in Echtzeit)
  - Extrem robust
- Probabilistischer Ansatz: Aus der „Vergangenheit“ lernen
  - „Erkenntnisse aus letzten Videobildern mit Daten des aktuellen Videobildes vergleichen“

# Vorstellbare medizinische Anwendung



- Aufnahme der Herzfunktion durch Ultraschall
  - Echtzeit Videosequenz
  - Starkes Rauschen => schwierige Analyse
- Condensation-Algorithmus zum Verfolgen und Hervorheben des zu untersuchenden Herzens

---

## 2. Stochastische Grundlagen

---



# Stochastische Grundlagen

- Grundlegende Eigenschaften von Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen  $a, b$

$$0 \leq P(a) \leq 1$$

$$\sum_k P(a_k) = 1$$

$$P(\bar{a}) = 1 - P(a)$$

- Zufallsvariable
  - Repräsentiert Ereignisse
  - Eintrittswahrscheinlichkeit soll berechnet werden
- a-priori Wahrscheinlichkeit
  - Unbedingte Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses  $a$ :  $\mathbf{P(a)}$   
Beispiel:  $P(\text{Sechser beim Würfeln}) = 1/6$
- a-posteriori Wahrscheinlichkeit
  - Bedingte W'keit eines Ereignisses  $A$  unter Beobachtung von  $b$ :  $\mathbf{P(a|b)}$   
Beispiel:  $P(\text{Sechser beim Würfeln} \mid \text{Gerade Augenzahl}) = 1/3$

# Bayes Gesetz

$$P(x | y) = \frac{P(x \wedge y)}{P(y)} = \frac{P(y | x) \cdot P(x)}{P(y)}$$

- $x$  : Hypothese, Schlußfolgerung (es ist sonnig)
- $y$  : Daten, Ursache (es sind 25°C)
- $P(y)$  : W'keit, daß an einem beliebigen Tag 25°C sind.
- $P(x)$  : W'keit, daß es sonnig ist.
- $P(x|y)$  : W'keit, daß 25°C, also „sonnig“ zutrifft.
- $P(y|x)$  : W'keit, daß es an einem sonnigen Tag 25°C sind.
  
- $P(x \wedge y) = P(y|x) \cdot P(x)$
- $P(y|x) \cdot P(x) = P(x|y) \cdot P(y)$

# Bayes Gesetz - Anwendung

$x$  = vermutete Position des Objektes

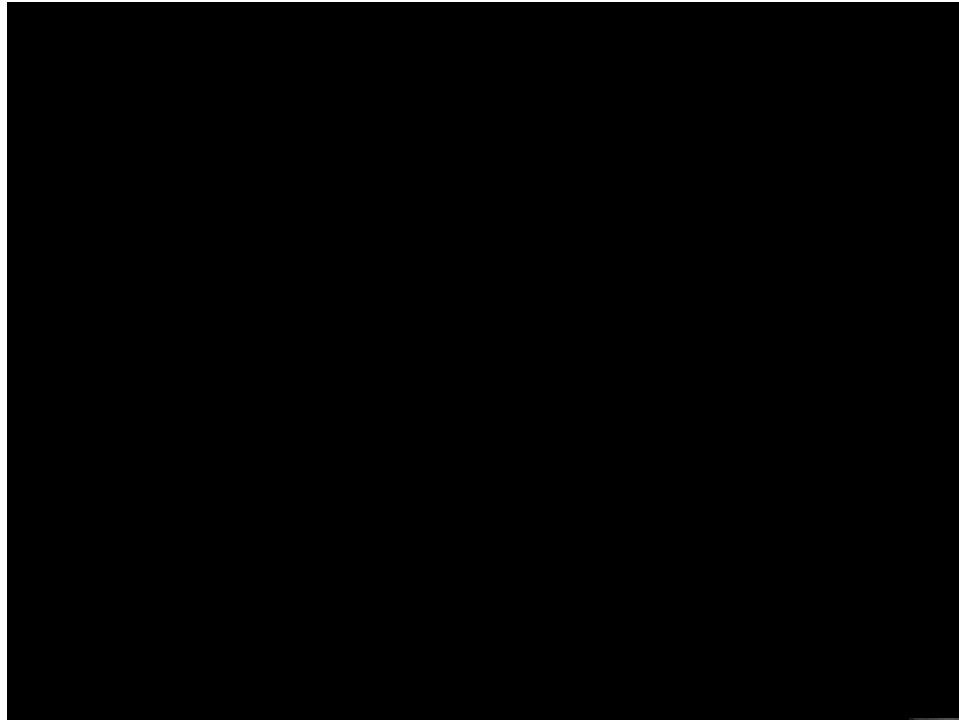
$y$  = Bildinformation

- Schwierige Bestimmung:  $P(x|y)$ 
  - Direkte Bestimmung der Objektposition im Bild
- Einfachere Bestimmung:  $P(y|x)$ 
  - Entspricht die Bildinformation der vermuteten Position?
- $P(x|y) = P(y|x) \cdot P(x) / P(y) = k \cdot P(y|x) \cdot P(x)$

---

## 3. Videobeispiele

# Video: Hand- und Fingerbewegungen



Umrandung  
des Objektes  
mit *splines*

1. Hand vor einfachem, weißem Hintergrund.
2. Hand vor komplexem Hintergrund.

# Video: Blatt im Wind



- Zuverlässige Objektverfolgung
  - vor einem dem Objekt sehr ähnlichem Hintergrund.
  - auch bei zeitweisem / teilweisen Verschwinden des Objektes.

# Video: Zeichnende Hand



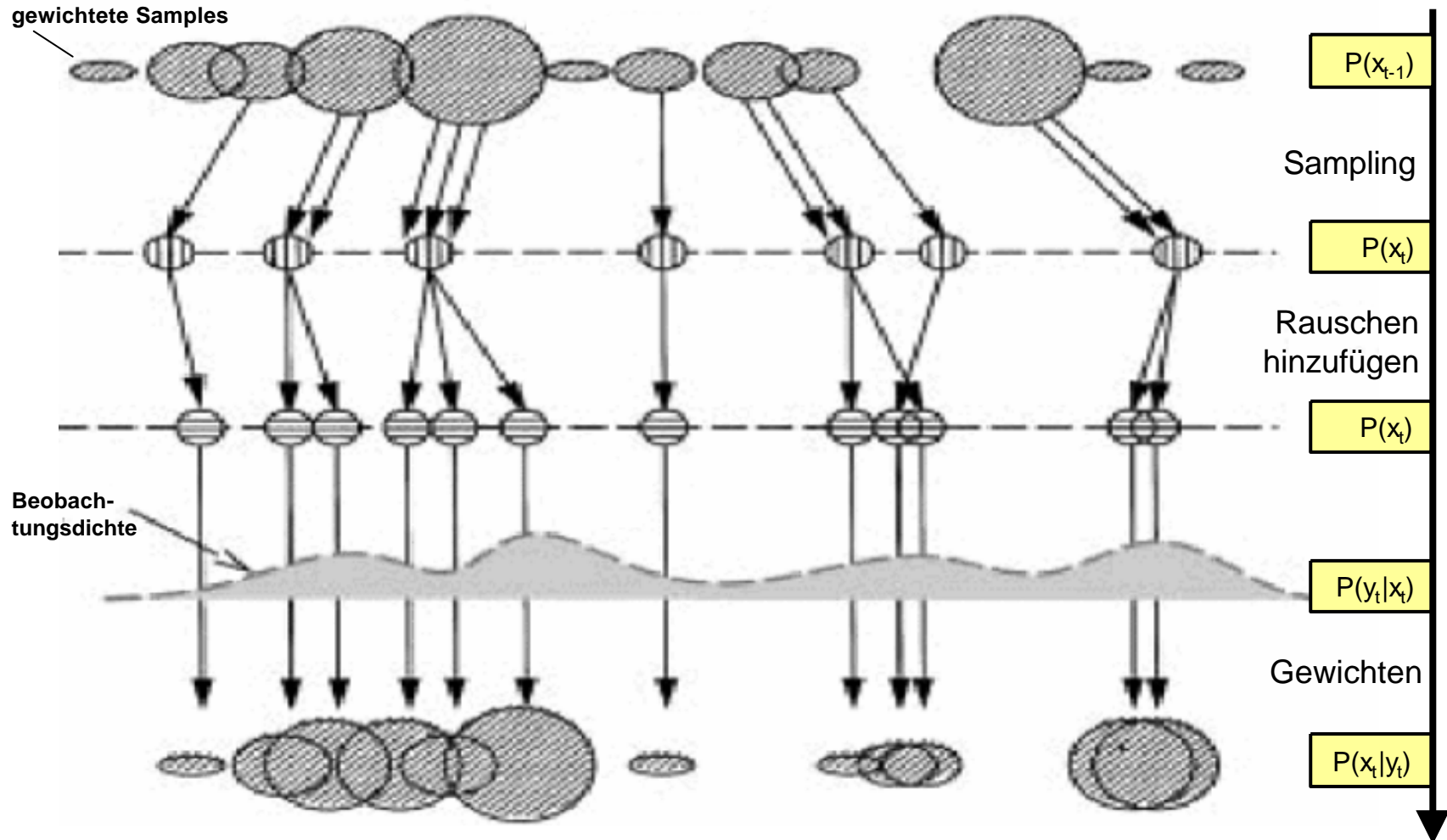
- Rote Umrandung: Langsame Zeichenbewegung.
- Grüne Umrandung: Schnelle Skizzierbewegung.
- Blaue Umrandung: Pause - die Hand zeichnet nicht.

---

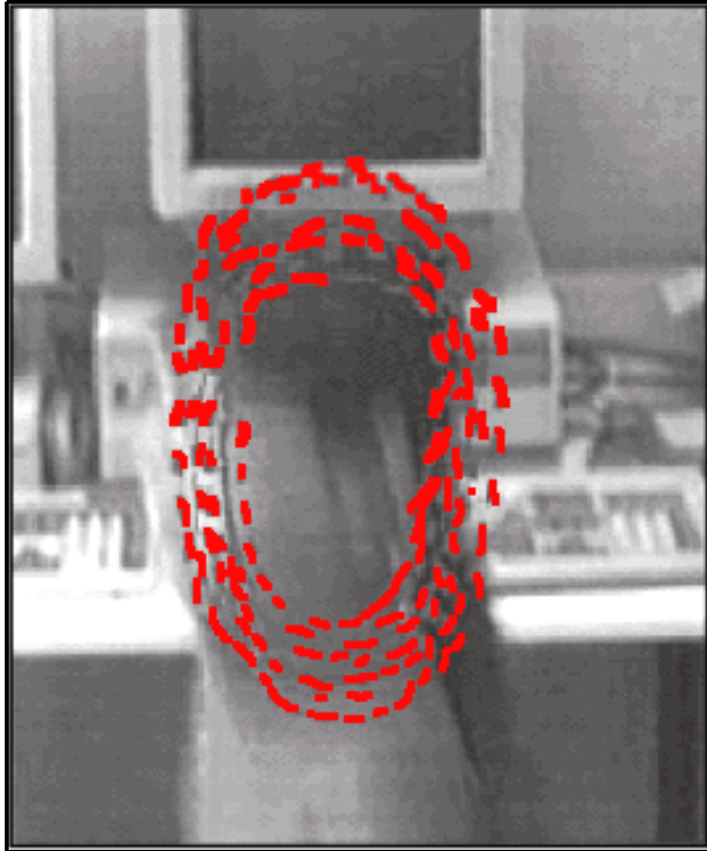
## 4. Ablauf des Algorithmus



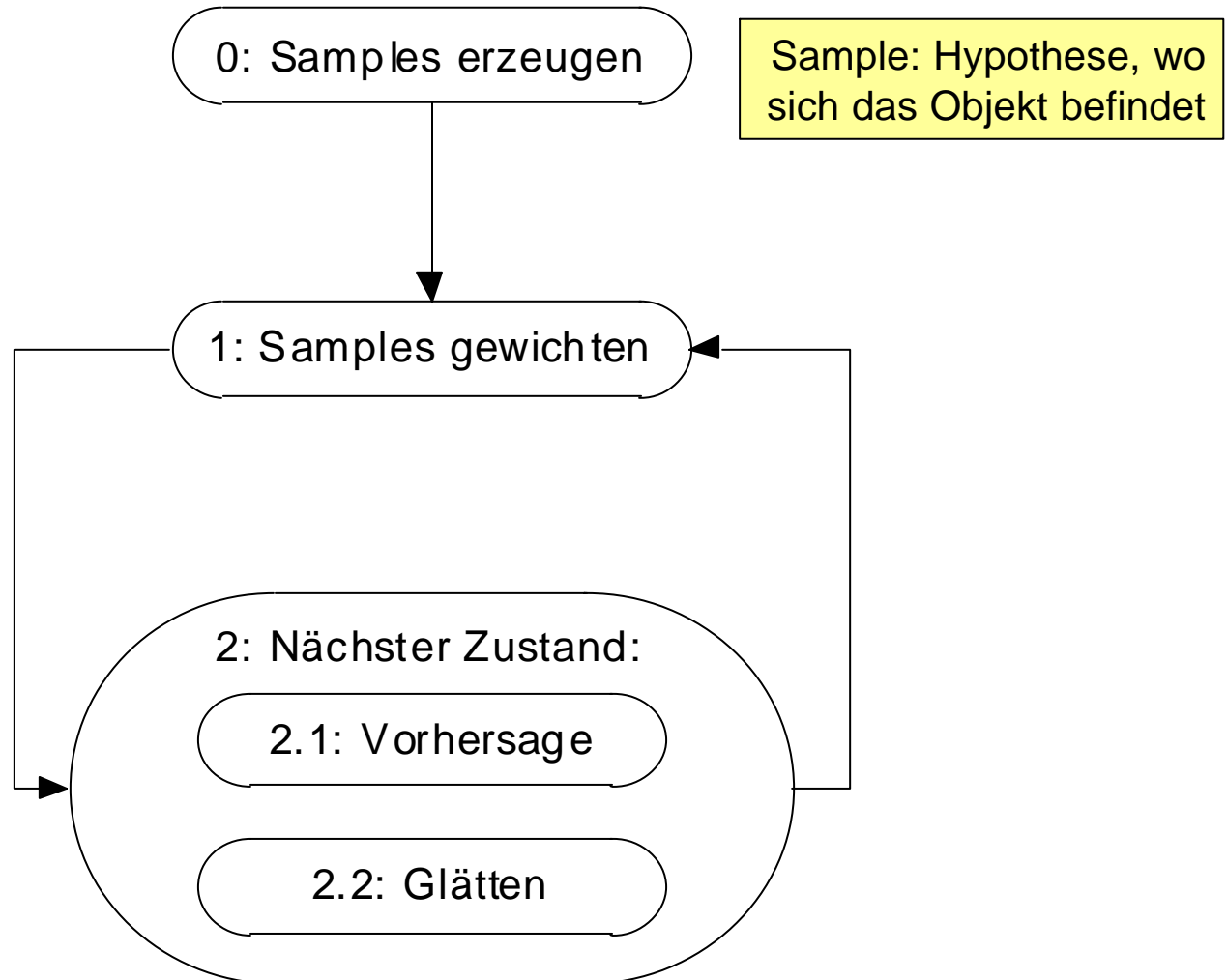
# Abbildung: Verfahrensschritte



# Abbildung: Wahrscheinlichste Objektposition

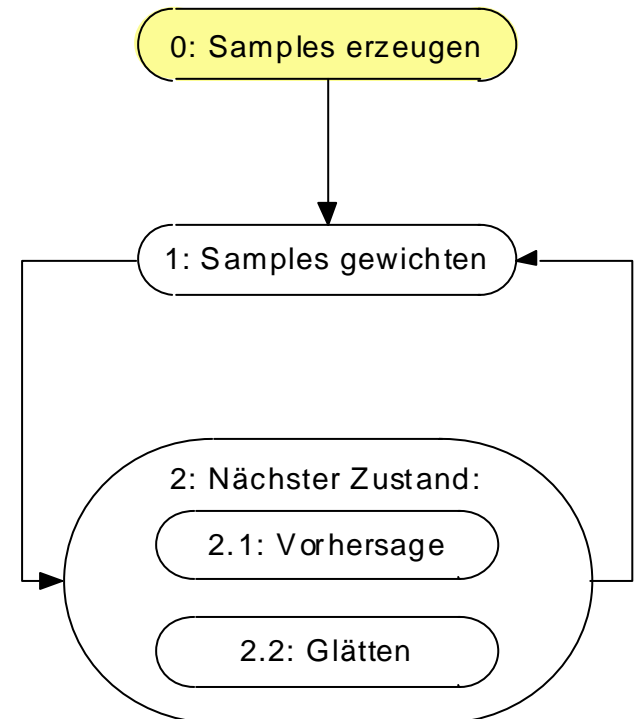


# Schematischer Ablauf



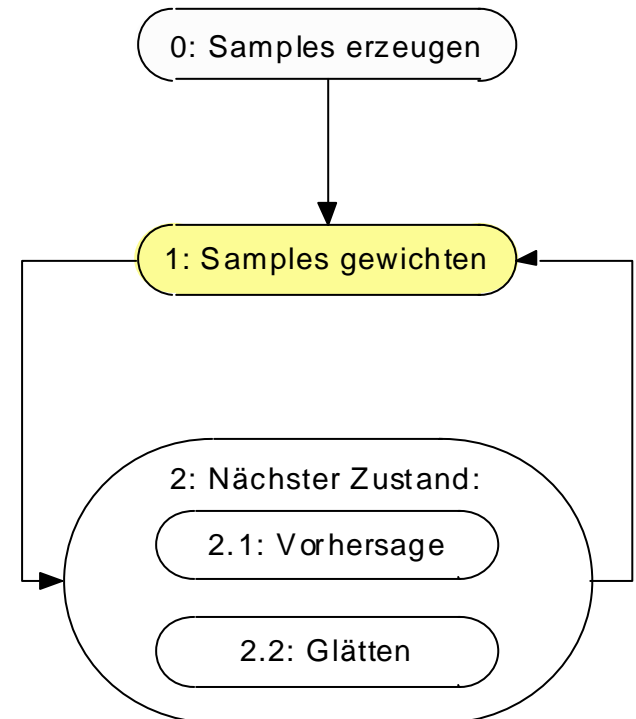
# Schritt 0: Samples erzeugen

- Zufallsmenge  $x_0$  (100-1000) von Samples im Bild verteilen
- Verteilung der Samples
  - Gleichverteilung
  - Mit geeigneter  $P(x)$  Samples in einer vermuteten Region eng streuen



# Schritt 1: Samples gewichten

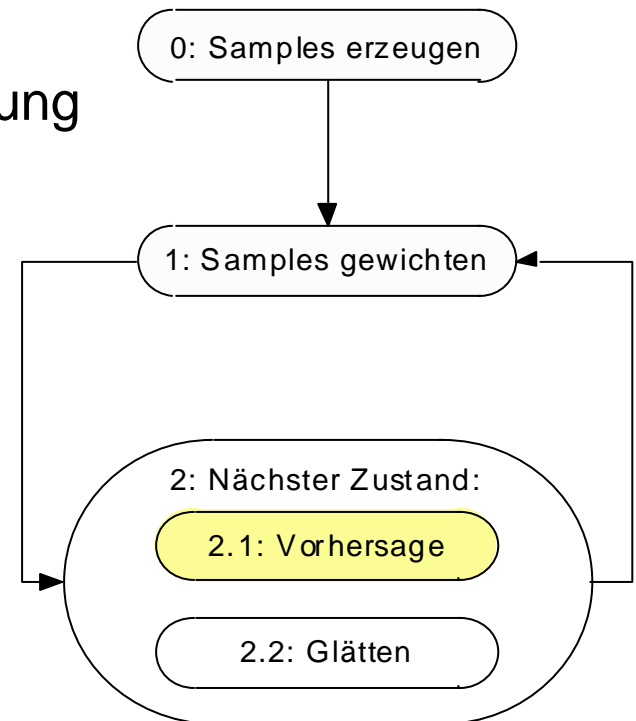
- $P(x)$  mit  $P(y|x)$  gewichten
- Distanz zwischen Hypothese und Bildinformation bestimmen  
 $d(x_{\text{Sample}}, y_{\text{Bild}})$  ?  $P(y|x)$



4. Vortrag: Erscheinungsbasierte 3D Objekterkennung  
(Andrea Wenning)

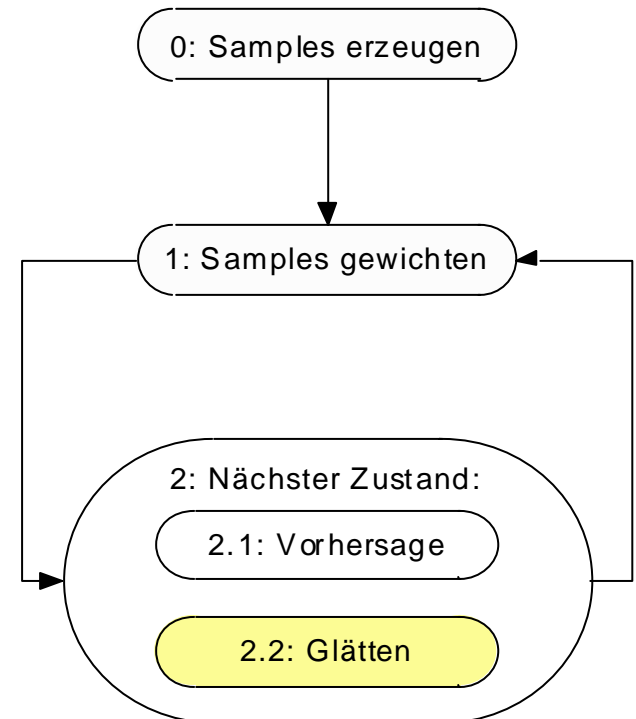
# Schritt 2.1: Vorhersage

- Sampleverteilung entspricht gegebener Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P(x)$  aus dem vorhergehenden Schritt („resampling“)
- Ziel: Objektverfolgung, daher:
  - Probabilistische Erfassung der Bewegung
  - Modell  $P(x_{t+1}|x_t)$
  - $P(x_{t+1})$  ?  $P(x_{t+1}|x_t) \cdot P(x_t)$



# Schritt 2.2: Glätten

- Nachteil des „resampling“: Sehr wahrscheinliche Samples tauchen sehr oft in der neuen Samplemenge auf
- Glättung durch normalverteiltes Rauschen



---

## 5. Vergleich:

Condensation Algorithmus / Kalman Filter

---



# Kurz vorgestellt: Der Kalman Filter

- Löst das allgemeine Problem den Zustand eines zeitbedingten Prozess mit linearen stochastischen Differenzgleichungen zu bestimmen.
- Annahme einer Gaußverteilung
- Zwei Schritte
  - Voraussage: Time Update
    - Voraussage des Zustands
    - Voraussage der Kovarianzmatrix
  - Anpassung: Measurement Update

# Kalman-Filter versus Condensation

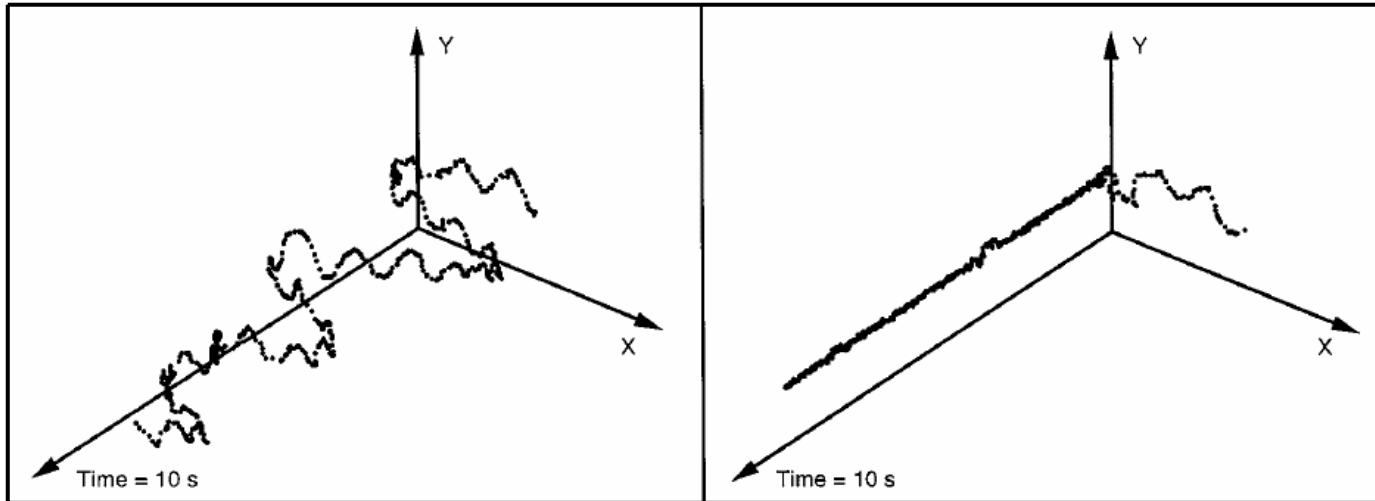
- Ein Schätzwert
- Normalverteilung
  - Geschlossene Lösung
- Matrixinversion
- Menge an Samples
- Beliebige Verteilung
  - Annäherung durch Samples
- „Einfache“ Berechnung

# Videobeispiel: Tanzendes Kind



- Extrem unruhige Tanzbewegungen
- Hochgradig unruhiger Hintergrund
- Condensation Algorithmus mit 100 Samples / Schritt

# Vergleich der Verfahren (Videobeispiel)



- Links: Condensation Algorithmus
  - Erfolgreiches Verfolgen der Tänzerin bei nur 100 Samples / Bild
- Rechts: Kalman Filter
  - Anfänglich erfolgreich
  - Bald gestört durch Hintergrund und Geschwindigkeit der Bewegungen

---

# 6. Zusammenfassung

---

# Zusammenfassung (1)

- Condensation =  
„Conditional Density Propagation (for visual tracking)“
- Stochastik
  - Zufallsvariable
  - a-priori / a-posteriori Wahrscheinlichkeiten
  - Bayes-Gesetz
- Samples = Hypothesen
- Kalman Filter

# Zusammenfassung (2)

- Ziel des Condensation Algorithmus
  - Identifizierung eines Objekts in einer Videosequenz
- Probabilistischer Ansatz
  - Grundlage: Bayes Theorem
  - Repräsentation der Wahrscheinlichkeitsverteilung an Samplestellen
  - Vergleich mit aktuellen Bilddaten
  - Fortwährende Anpassung der Wahrscheinlichkeitsverteilung
- Kompromiss
  - Viele Samples => Hohe Genauigkeit = Hoher Aufwand an Rechenzeit
  - Wenige Samples = Geringere Genauigkeit = Real Time