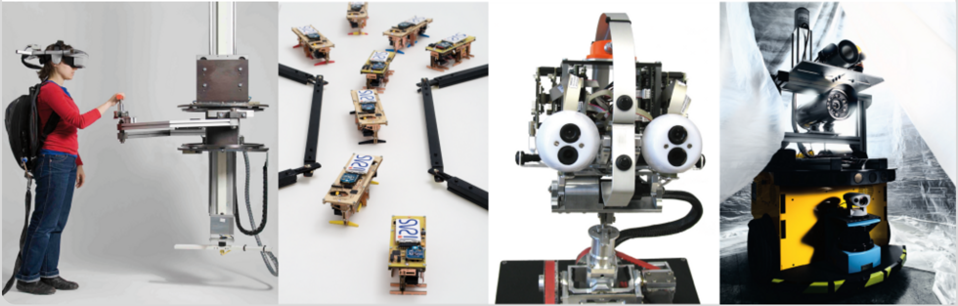
Karlsruher Institut für Technologie

Intelligente Sensor-Aktor-Systeme

Nonlinear Filtering with Homotopy Continuation

Marcel Hiltscher | 29. Juni 2020

SEMINAR: VON BIG DATA ZU DATA SCIENCE – MODERNE METHODEN DER INFORMATIONSVERARBEITUNG



Gliederung

Das System- und Messmodell

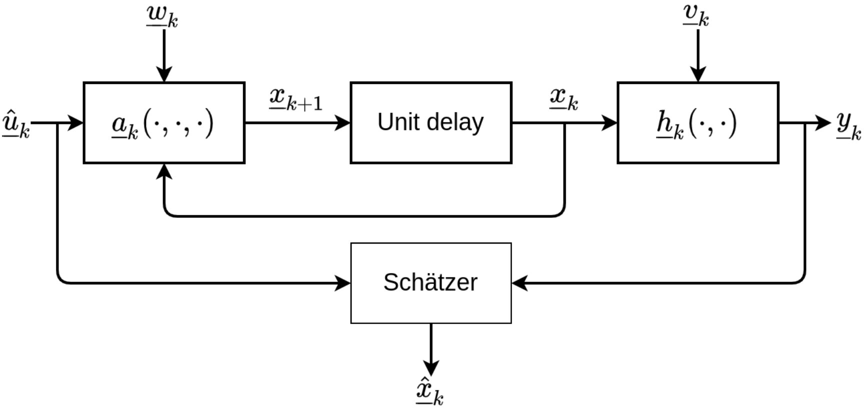


Abbildung: Nichtlineares System- und Messungsmodell

Filterung

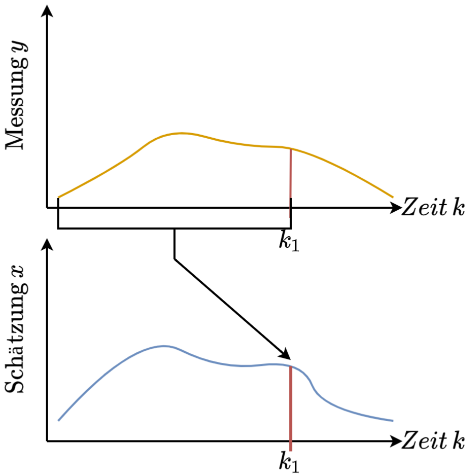


Abbildung: Prinzip der Filterung für einen expliziten Zeitpunkt

Filterung

$$f^e_{k+1}(\underline{x}_{k+1}|\underline{Y}_{k+1}) \propto f^L_{k+1}(\underline{y}_{k+1}|\underline{x}_{k+1}) f^p_{k+1}(\underline{x}_{k+1}|\underline{Y}_k) \tag{1}$$

Keine closed-form Lösung? $\rightarrow$ Approximiere auftredende Dichte

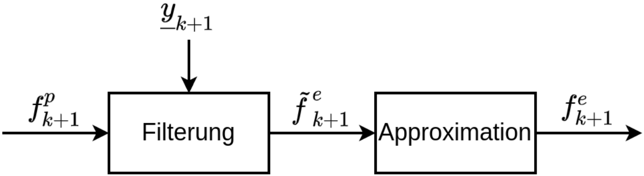
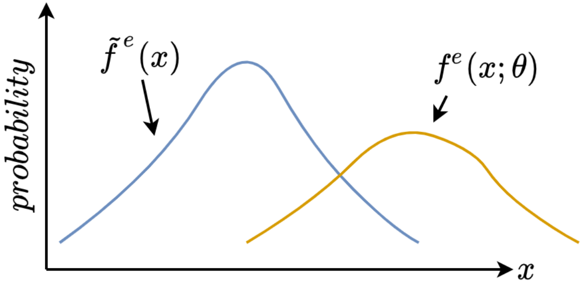


Abbildung: Approximation des Filterschritts

Approximation durch Parameterschätzung

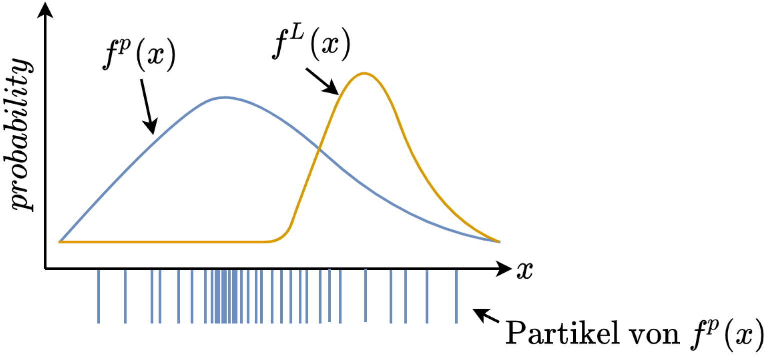
Finde optimalen Paramter θ für $f^e(x;\theta)$ mithilfe einer Abweichungsmessung $G(\theta)$



$\rightarrow$ Problem der lokalen Minima bei Optimierung!

Approximation durch Partikeln

Nutze Samples/Partikel um die Dichte zu approximieren



$\rightarrow$ Problem der Sampledegenerierung!

Grundlagen der Homotopie

$$H(x;\lambda) = (1-q)\sin(\pi x) + q(8x(x-1))$$

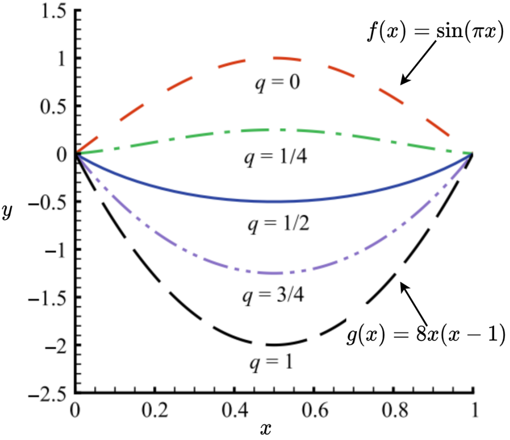


Abbildung: Homotopieverlauf nach [2]

Homotopie und Filterung

Homotopie zwischen der prioren Dichte und der der posterioren Dichte:

$$H(x;\lambda) = \tilde{f}^e(\underline{x},\lambda) = f^p(\underline{x}) f^L(\underline{x})^\lambda \tag{2}$$

Mit $\lambda \to 1$ bekommen wir vorläufige Versionen von $\tilde{f}^e$

Homotopie und Filterung

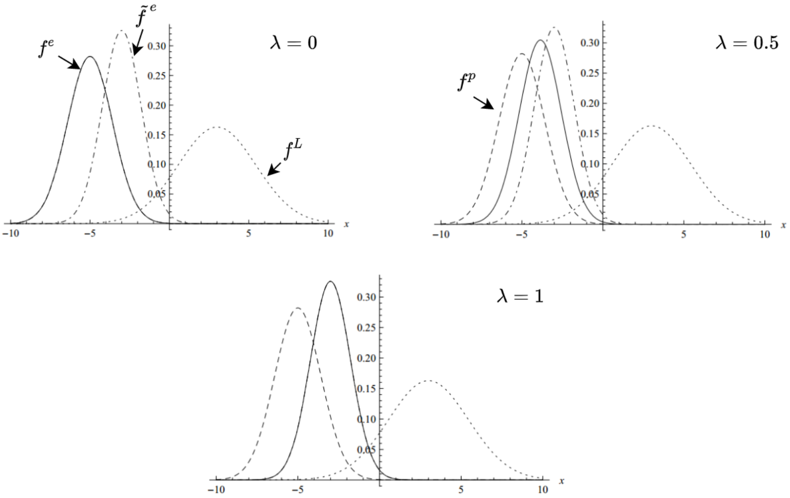


Abbildung: Homotopieverlauf nach [1]

Parameterschätzung mit Homotopie

Ziel: Berechne die optimalen Parameter $\underline{\theta}$ für f^e

1. Homotopie $\tilde{f}^e(\underline{x}, \lambda)$
2. Approximations Dichte $f^e(\underline{x}, \underline{\theta})$
3. Abweichungsmessung $G(\theta)$ zwischen $f^e(\underline{x}, \underline{\theta})$ und $\tilde{f}^e(\underline{x}, \lambda)$
4. Differentialgleichung (ODE) von der Abweichungsmessung abgeleitet

Löse die ODE für bestimmtes $\lambda \rightarrow$ Bekomme optimalen Parameter $\underline{\theta}$

Partikelfilter und Importance Sampling

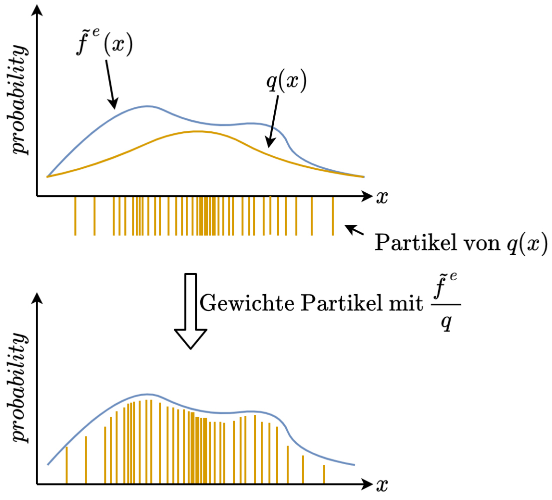


Abbildung: Idee des Importance Sampling

Partikelfilter mit Homotopie

Erstelle mit Homotopie vorläufige Versionen der Dichte $q(x)$

Grundlegende Prozedur für die Progression $\lambda \leq 1$:

1. Update die Samples mithilfe $q(x)$
2. Update die Gewichte mithilfe $\tilde{f}^e/q$

Mit dem letzten Schritt ($\lambda = 1$) erhält man die Approximation der posterioren Dichte

Zusammenfassung

Homotopie als progressive Approximation der posterioren Dichte

- Kontinuierliche Approximation mithilfe der Parameterschätzung
- Diskrete Approximation mithilfe von Importance Sampling

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Literatur

Jonas Hagmar, Mats Jirstrand, Lennart Svensson, and Mark Morelande.
Optimal parameterization of posterior densities using homotopy.
In *14th International Conference on Information Fusion*, pages 1–8, July 2011.

Shijun Liao.
Homotopy Analysis Method in Nonlinear Differential Equations.
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.

Zusatz

Homotopiegleichung für Parameterschätzung:

$$\tilde{f}^e(\underline{x}, \lambda) = f^p(\underline{x}) f^L(\underline{x})^\lambda \tag{3}$$

Herleitung der ODE:

$$G_{\underline{\theta}}(\underline{\theta}, \lambda) = \frac{\partial G(\underline{\theta}, \lambda)}{\partial \underline{\theta}} = 0 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial G_{\underline{\theta}}(\underline{\theta}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda} &= \frac{\partial G_{\underline{\theta}}(\underline{\theta}(\lambda), \lambda)}{\partial \underline{\theta}} \frac{\partial \underline{\theta}(\lambda)}{\partial \lambda} + \frac{\partial G_{\underline{\theta}}(\underline{\theta}(\lambda), \lambda)}{\partial \lambda} \\ &= G_{\underline{\theta\theta}}(\underline{\theta}(\lambda), \lambda)\, \dot{\underline{\theta}}(\lambda) + G_{\underline{\theta}\lambda}(\underline{\theta}(\lambda), \lambda)\end{aligned} \tag{5}$$

Zusatz

Approximation mit den Partikeln durch eine Dirac Dichte:

$$f^e(\underline{x}, \lambda_\tau) = \sum_{i=1}^{L} w^{(i)} \delta(\underline{x} - \underline{x}_\tau^{(i)}) \tag{6}$$