

MASTERARBEIT: Continuous-Time-Identification

Autor: Thomas Leitner
Betreuer: Prof. Dr. Luigi del Re
Dr. Harald Kirchsteiger
Dipl.-Ing. Hannes Trogmann
Fertiggestellt: Juni 2013

Kurzbeschreibung

Der Bereich der System Identifikation ist ein weit verbreitetes Feld, wo versucht wird, anhand von Messdaten aussagekräftige Modelle zu erstellen. Anhand von Modellen können zum Beispiel Simulationen durchgeführt oder Regelparameter für Regelkreise bestimmt werden. Seit vielen Jahren erfolgt die Identifizierung bevorzugt anhand zeitdiskreter (DT) Methoden. Wird ein zeitdiskretes Modell anschließend in den zeitkontinuierlichen Bereich transformiert, dann wird die Identifikationsmethode als „indirekte“ Methode bezeichnet. Ein noch etwas neu beleuchtetes Feld ist die zeitkontinuierliche (CT) Methode, die als direkte Methode bekannt ist und gewisse Vorteile mit sich bringt. Die Schwierigkeit liegt jedoch beim Generieren der Zeitableitungen aus diskret vorliegenden Messdaten. Des Weiteren ist unbekannt, ob sich die unterschiedlichen Identifizierungsmethoden auf eine angewandte kontinuierliche Regelung auswirken. In dieser Masterarbeit wird anhand eines Fallbeispiels versucht, Erkenntnisse zu dieser Fragestellung zu bekommen.

Simulation

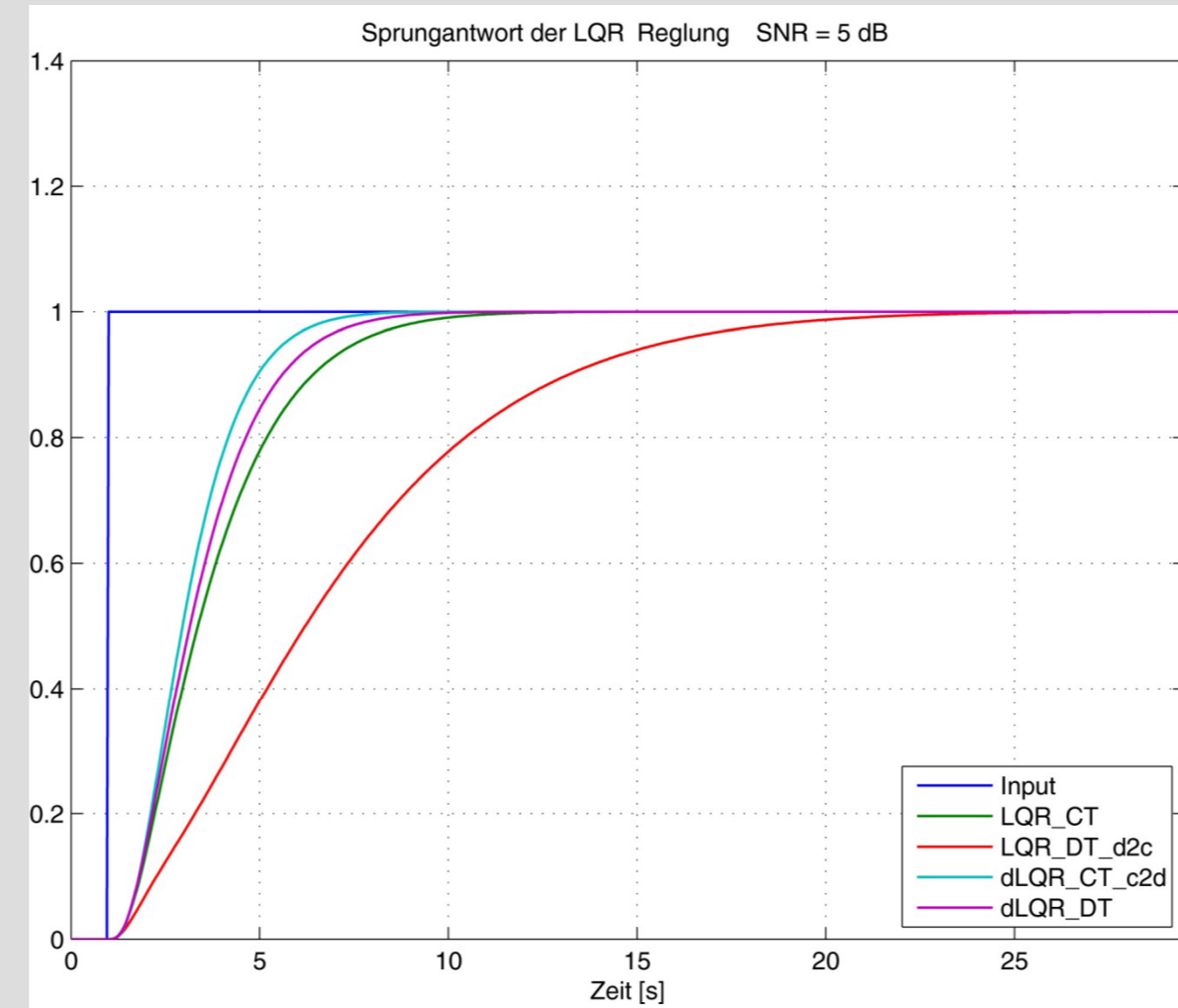
Betrachtetes System:

$$G(s) = \frac{3}{s^2 + 4s + 3}$$

Identifizierte Modellstrukturen:

ARX: $y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot u(t) + \frac{1}{A(s)} \cdot e(t)$

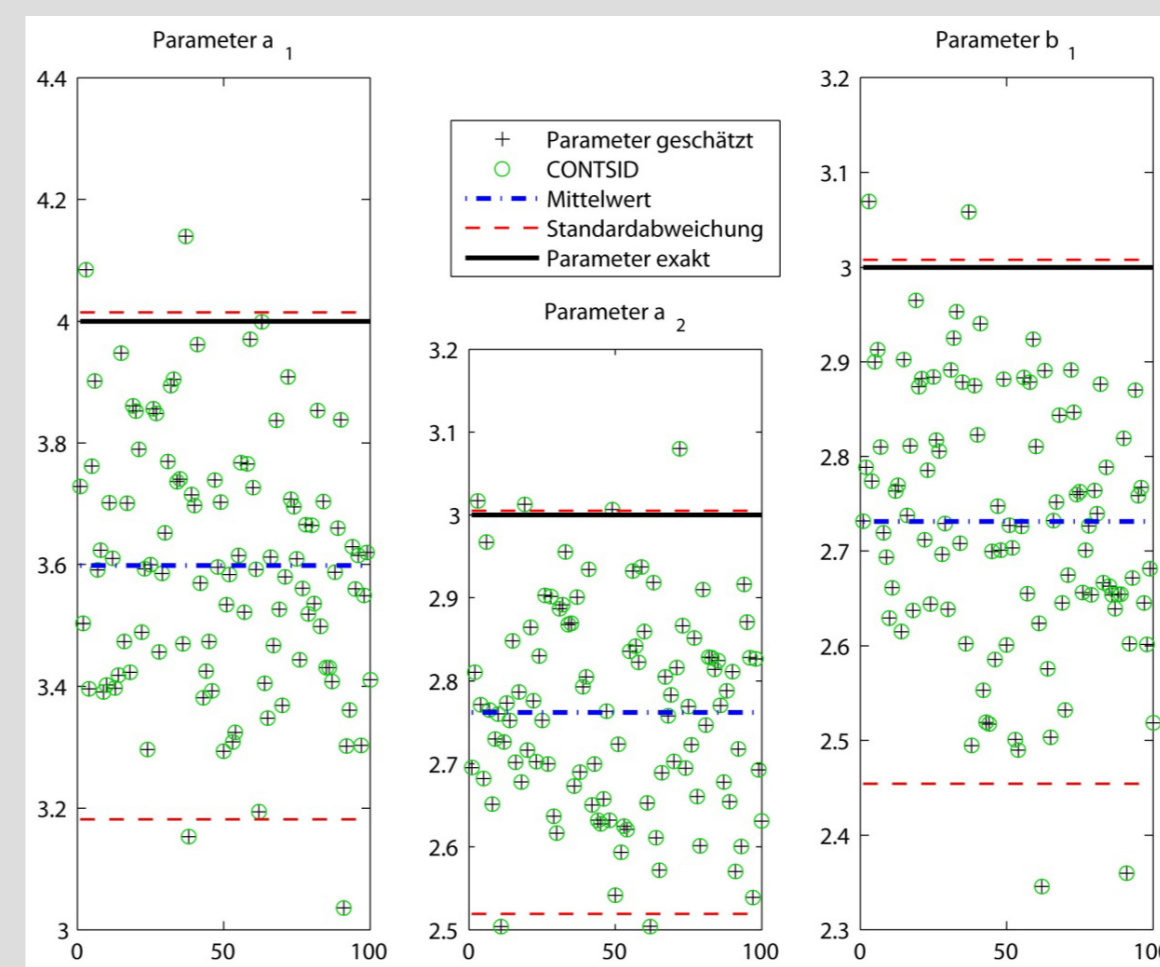
OE: $y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} \cdot u(t) + e(t)$



Ein Ziel dieser Arbeit war es, einen Vergleich anzustellen, ob die Wahl des Identifikationsweges („direkt“ vs. „indirekt“) Auswirkungen auf den Reglerentwurf hat oder nicht. Dazu wurden vier modellbasierte LQR-Regler entworfen (siehe Regelkreis unten), wobei zwei zeitkontinuierliche und zwei zeitdiskrete Regler implementiert wurden. Zum Entwurf wurden beim CT-Regler und DT-Regler je ein direkt und ein indirekt identifiziertes Modell herangezogen. Die Gewichtungsmatrizen des LQR-Reglers wurden so verändert, dass die Systemantworten gerade nicht zum Überschwingen neigten.

Erkennbar ist, dass die beiden zeitdiskreten Reglerentwürfe (türkis und violett) bessere Ergebnisse als die zeitkontinuierlichen liefern. Beim Vergleich der direkten und indirekten Methode ist ersichtlich, dass jeweils die direkt identifizierten Modelle (grün und türkis) schnellere Systemantworten als die indirekt identifizierten (rot und violett) zur Folge haben.

State Variable Filter



Ein traditionelles Konzept zur Generierung der Zeitableitungen ist die Anwendung eines *State-Variable-Filters* (SVF).

Bei Anwendung eines solchen auf ein Fallbeispiel, dessen Ausgang additiv ein mittelwertfreies gaußsches weißes Rauschen hinzugefügt wurde, kam es zu einer systematischen Abweichung bei der Parameteridentifikation. Die identifizierten Parameter streuten nicht um den wahren Parameter, drifteten systematisch in Richtung null ab.

Als Ursache wird der Einfluss des SVF vermutet, der bei Anwendung auch den additiven Fehler filtert. Durch die Filterung liegt kein weißes Rauschen, sondern ein färbiges Rauschen, vor.

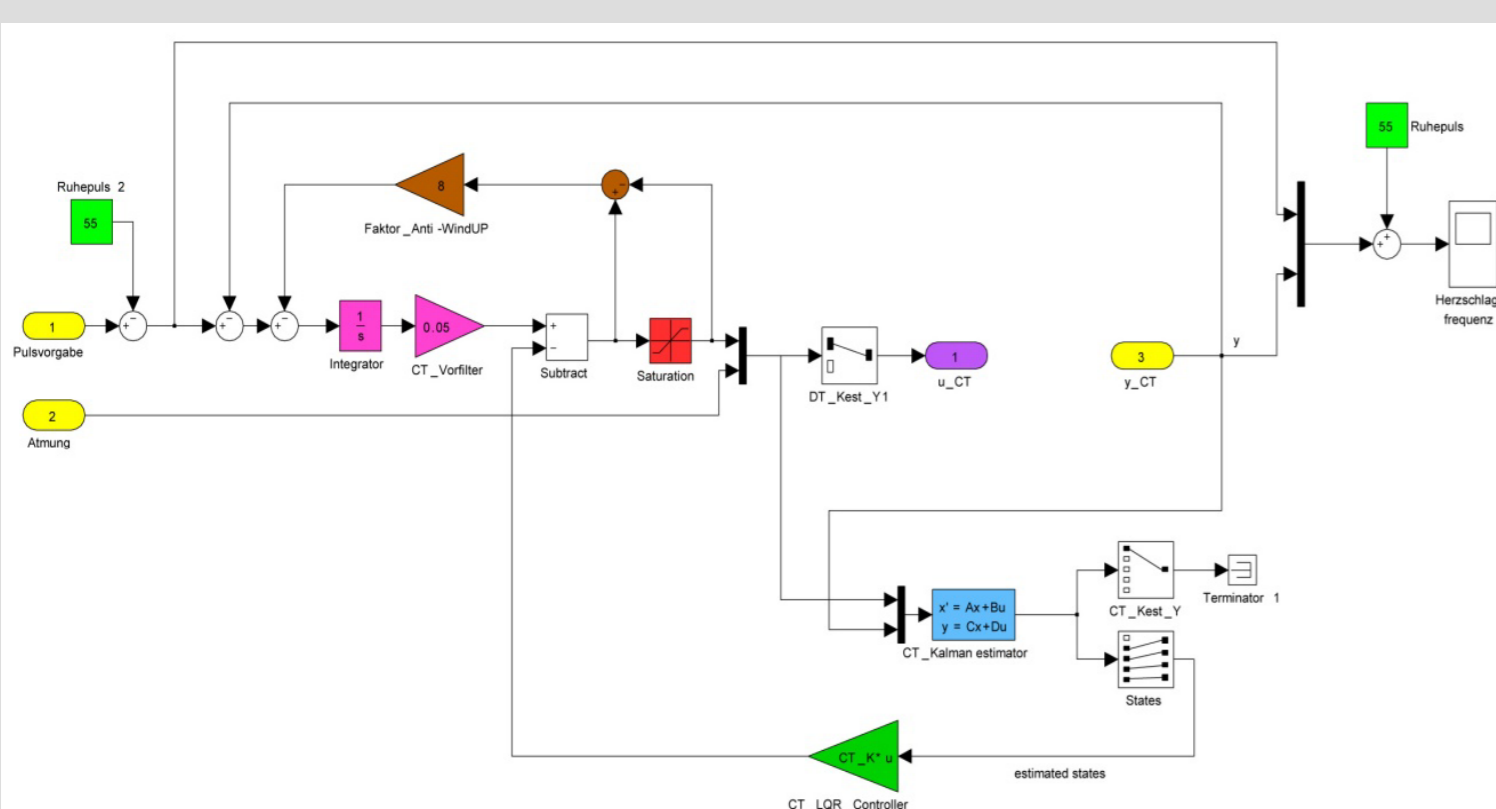
ARX-Struktur: $y(t) = \frac{B(p)}{A(p)} u(t) + \frac{1}{A(p)} e(t)$

SVF: $F(p) = \frac{1}{(p + \lambda)^2}$ *Weißes Rauschen*

Regressionsform:

$$\frac{p^2}{(p + \lambda)^2} y(t) = \left[-\frac{p}{(p + \lambda)^2} y(t) \quad -\frac{1}{(p + \lambda)^2} y(t) \quad \frac{1}{(p + \lambda)^2} u(t) \right] \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \end{bmatrix} + \underbrace{\frac{1}{(p + \lambda)^2} e(t)}_{\text{Färbiges Rauschen}}$$

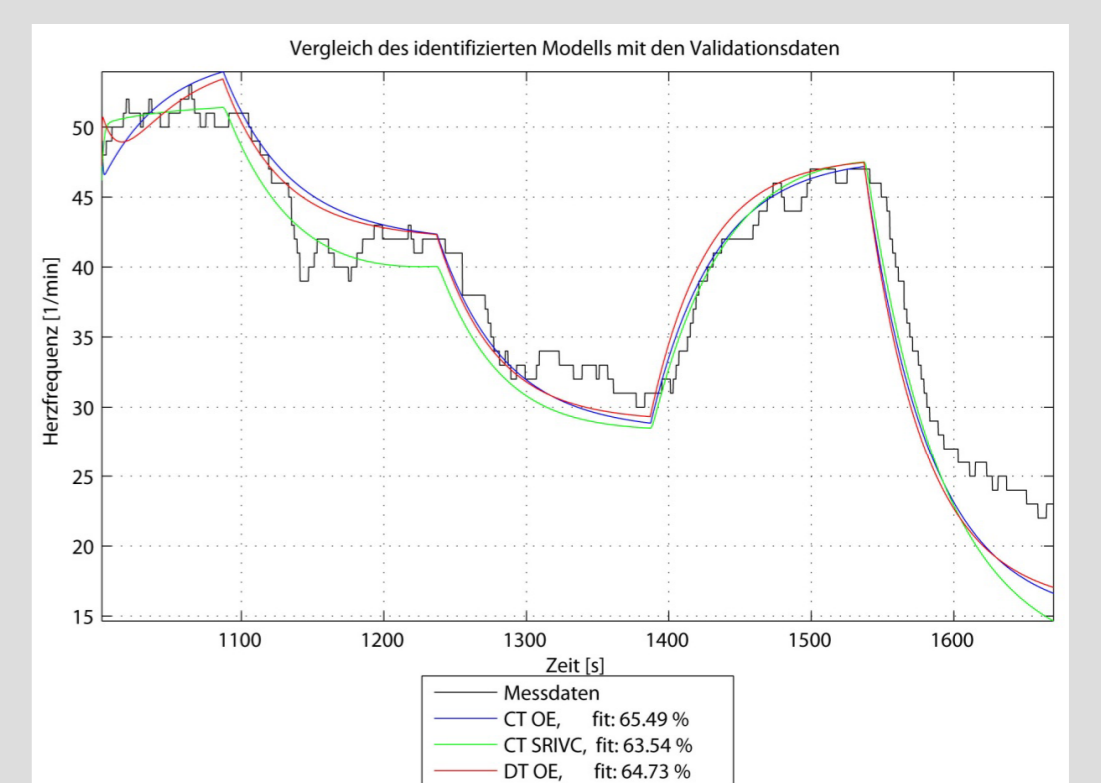
Praktische Anwendung



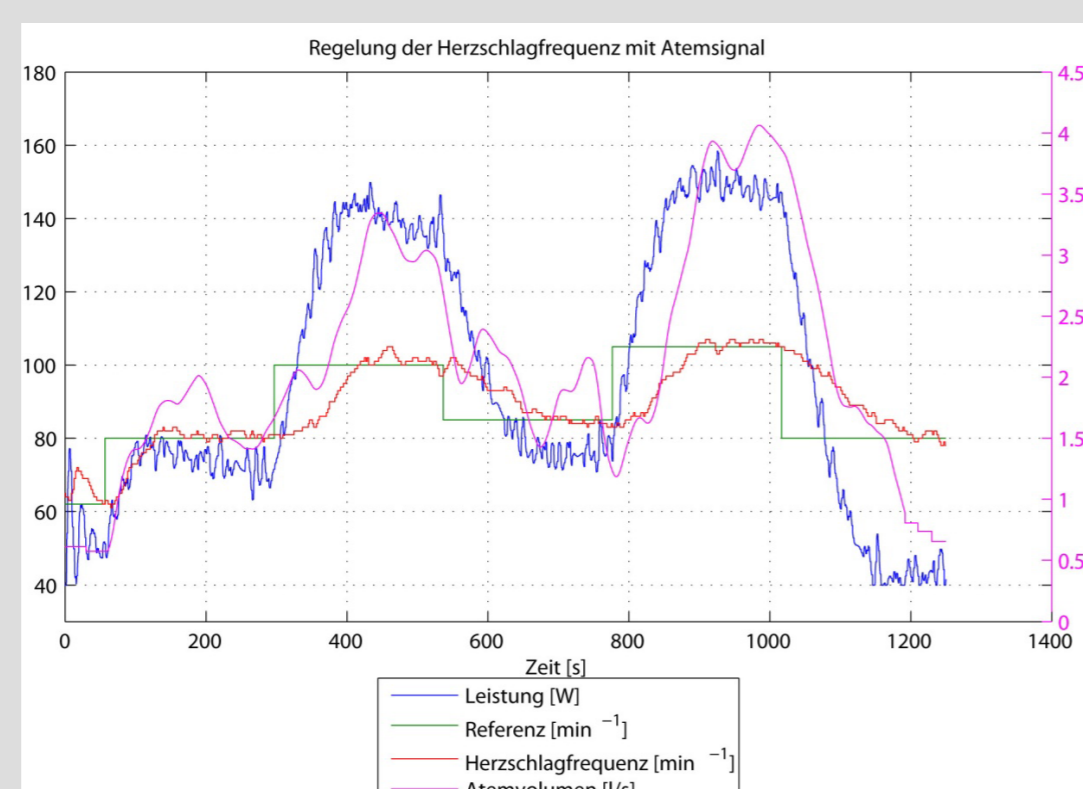
Zum Abschluss dieser Arbeit wurde eine praktische Anwendung realisiert. Verwendet wurde ein Ergometer, wobei ein System (MISO) mit der Bremsleistung sowie dem Atemvolumen als Eingänge und der Herzschlagfrequenz als Ausgang vorlag. Es sollte eine Regelung entworfen werden, sodass die Herzschlagfrequenz einer Referenz folgt.

Die Regelung wurde mit einem modellbasierten LQR-Regler in Kombination mit einem I-Regelkreis (Sollwertfolge) verwirklicht (links). Der Regelkreis wurde mit Anti-Windup-Maßnahmen erweitert (braune Blöcke).

Anhand von Messdaten wurden ARX- und OE-Modelle identifiziert und die Übereinstimmungen berechnet (rechts). Die Ergebnisse zwischen 63,54 % und 65,49 % gelten für biologische Systeme als sehr gut.



Die Regelung der Herzschlagfrequenz kann im Bereich der Trainingslehre von großem Nutzen sein. Durch die Anwendung einer solchen kann das Ausdauertraining optimiert und perfektioniert werden.



Eigentlich war es ein Ziel dieser Arbeit, auch bei der praktischen Anwendung einen Vergleich der direkten und indirekten Methode anzustellen. Dieser Vergleich war jedoch aufgrund der Inpatienten-Variabilität nicht möglich. Damit ist gemeint, dass im System „Mensch“ innerhalb kurzer Zeit Änderungen ergeben (z.B. Ermüdung der Muskulatur).

Die Regelung der Herzschlagfrequenz konnte unter Einbindung des Atemvolumens verbessert werden. Die Herzschlagfrequenz variiert mit +/- zwei Herzschlägen um die Referenz und bietet somit eine ideale Grundlage zum optimalen Ausdauertraining.

Fazit und Ausblick

Betreffend dem Fallbeispiel lieferte einmal die indirekte (ARX) und einmal die direkte Methode (OE) bessere Ergebnisse. Bei der Regelung sind jeweils die direkten Methoden im Vorteil.

Der Einfluss und die Auswirkungen des SVF können weiterführend noch näher untersucht werden.

Erweiterung der Regelung um den Sauerstoffverbrauch VO_2 , um den O_2 -Verbrauch der Muskulatur zu berücksichtigen.

