



Doctoral Thesis

Untersuchung modellbasierter, adaptiver Verfahren zur Kompensation der Gemischbildungsdynamik eines Otto Motors

Author(s):

Turin, Raymond Claude

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000694129> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**Untersuchung modellbasierter, adaptiver
Verfahren zur Kompensation der
Gemischbildungsdynamik
eines Otto-Motors**

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Raymond Claude Turin

Dipl. Maschineningenieur ETH

geboren am 28. Juli 1959

von Collombey-Muraz/VS

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. H. P. Geering, Referent

Prof. Dr. M. K. Eberle, Korreferent

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden modellbasierte, adaptive Konzepte für die Kompensation der Gemischbildungsdynamik in sequentiell eingespritzten Otto-Motoren erarbeitet. Die Konzepte werden im praktischen Versuch ausgetestet. Zu diesem Zweck wird ein Motorenprüfstand verwendet, dessen Steuersystem und Instrumentierung speziell auf die Bedürfnisse der Echtzeitdatenverarbeitung und der angewandten regelungstechnischen Forschung zugeschnitten sind.

Das dynamische Gesamtsystem der Gemischbildung wird für die Belange der Modellbildung in die Dynamik des Luft- und des Kraftstoffpfads, sowie in die Dynamik der Abgasmesssonde aufgeteilt. Für alle Teilsysteme werden praxisgerechte, dynamische Näherungsmodelle hergeleitet.

Zur Kompensation der Dynamik des Luftpfades wird ein adaptiver Saugrohrbeobachter entworfen. Er liefert eine Schätzung für die aus dem Saugrohr hinausströmende Luftmasse. Der Einfluss nichtmodellierter Temperatureffekte wird mit Hilfe einer Füllungsadaption ausgeglichen. Der Beobachter stützt sich einzig auf die Messung der Temperaturen von Ansaugluft und Kühlwasser sowie die Messung des Umgebungs- und des Saugrohrdrucks ab. Die Notwendigkeit eines Luftmassenmessers im Motorsteuersystem entfällt daher gänzlich.

Zwischen dem Luft- und dem Kraftstoffpfad besteht infolge systematischer Totzeiten ein Phasenfehler. Voraussetzung für die Elimination dieses Fehlers ist der Einbau einer elektronisch gesteuerten Drosselklappe im Ansaugsystem des Motors. Der laufende Drosselklappensollwert wird dann in einem Schieberegister zwischengespeichert und erst nach Ablauf der Phasentotzeit an den Drosselklappensteller übergeben. Gleichzeitig wird auf der Basis eines dynamischen Drosselklappenmodells und des Saugrohrbeobachters mit Hilfe des aktuellen Drosselklappensollwertes der künftige Luftmassenstrom berechnet. Er bildet im folgenden die Berechnungsgrundlage für die Einspritzzeit.

Auf der Basis der Modelle für den Kraftstoffpfad, die Sauerstoffsondendynamik sowie unter Beizug der prädiktierten Zylinderfüllung, werden die Grundlagen für die Realisierung eines adaptiven λ -Reglers erarbeitet. Wegen der Nichtlinearitäten im dynamischen Modell erweisen sich in diesem Zusammenhang nur explizite Regelverfahren als zweckmässig.

Zentraler Bestandteil des Regelkonzepts bildet ein adaptives, erweitertes Kalman-Filter für die on-line Identifikation der Wandfilm- und Sondenparameter. Um statistisch konsistente Verhältnisse zwischen Prozess und Filter zu gewährleisten, werden die a priori ins Modell eingebrachten Kenntnisse mit Hilfe der Messinformation laufend korrigiert. Beim verwendeten Korrekturverfahren handelt es sich um das sogenannte Covariance-Matching (auch adaptive noise estimation). Es zeigt sich, dass mit Hilfe dieser Methode die Qualität der Schätzungen massiv verbessert werden kann.

Nach dem Prinzip des Modellvergleichsverfahrens wird schliesslich ein typischer adaptiver Regler entworfen. In Abweichung zum herkömmlichen Vorgehen erfolgt die Adaption der Reglerparameter dabei mit Hilfe der vom erweiterten Kalman-Filter gelieferten Schätzwerte für die Prozessparameter.

Die Tauglichkeit der Modelle und der erarbeiteten Konzepts wird im Versuch verifiziert. Die Resultate bekräftigen, dass in der Anwendung adaptiver Techniken ein zukunftsträchtiges Potential für die verbesserte Gemischregelung steckt.

Abstract

In the present work adaptive, model-based concepts are investigated to compensate the mixture dynamics in sequentially injected combustion engines. These concepts are then evaluated on a engine test bench with a dynamic brake. In terms of instrumentation and control devices, this test bench is specifically tuned to meet the requirements of real time operation and applied control theory.

For modelling purposes, the overall system of mixture dynamics is divided into three basic sections: A fuel path and a air path consisting of intake manifold- and wall-wetting dynamics, respectively, and the oxygen sensor dynamics. For all these subsystems, suitable dynamic models are developed.

An adaptive observer is designed for the intake manifold dynamics to compensate the air path dynamics. This observer generates an estimate of the air flow out of the manifold. The influence of unmodelled temperature dynamics is cancelled out by identifying the actual cylinder filling. The observer estimates are based solely on the measurement of temperatures (intake air and cooling water) and pressures (intake manifold and ambient). The need for an air flow sensor is thus obsolete.

The phase error due to an inherent time shift between air and fuel paths causes considerable mixture ratio excursions during transient engine operation. Since the present test bench is equipped with an electronically controlled throttle, these variations can be eliminated. For this purpose, the actual throttle set point signal is sufficiently delayed while it forms the basis for the calculation of future air flow into the cylinders. This prediction makes use of the intake manifold observer mentioned above and additionally requires a suitable model for the throttle dynamics. The predicted air flow then forms the basis for the calculation of the injection time and thus the phase error is eliminated.

Concerning the realization of an adaptive, model based controller for the mixture ratio, it turns out, that only explicit adaptive designs can be used,

i.e., the process dynamics have to be identified explicitly. This is a direct consequence of some inherent nonlinearities in the basic dynamics. Furthermore, the need for nonlinear system identification concepts arise. Therefore, an extended Kalman filter is implemented for the on-line estimation of both system state variables and dynamic parameters of wall-wetting and oxygen sensor dynamics. Such filters perform well only if the statistical properties of the stochastic processes are sufficiently matched. Since this a priori knowledge is hardly accessible in the present case, an adaptive noise estimation procedure is implemented as well, which improves the filter performance considerably.

According to the principle of model reference adaptive control a typical adaptive controller is designed. In variation to the classical approaches the adaptation of the controller parameters is performed on the basis of the parameter estimates delivered by the extended Kalman filter.

Both the dynamic models and the controller designs are validated by representative experiments on the test bench. The results of these tests affirm the great potential lying in the future application of adaptive techniques in the field of mixture ratio control.