

Thorsten Lang, Braunschweig

Entwicklungsumgebungen zur schnellen Reglerdimensionierung

Wie in vielen anderen technischen Branchen ist auch in der Hydraulik oder Landtechnik eine starke Zunahme von geregelten Systemen und ein Anwachsen der technischen Anforderungen an diese Regelkreise festzustellen. Die Ansprüche an eine größere Funktionsvielfalt bei gleichzeitiger Verkürzung der Entwicklungszeiten von Steuergeräten steigen rasant. Mit welchen Werkzeugen – sowohl im Forschungsbereich als auch für industrielle Anwendungen – heute Regler schnell ausgelegt und in Elektronikeinheiten umgesetzt werden können, soll hier kurz beschrieben werden.

Dipl.-Ing. Thorsten Lang ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms) der Technischen Universität Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, e-mail: t.lang@tu-bs.de.

Schlüsselwörter

Reglerauslegung, elektronische Steuerungen, Programmierwerkzeuge

Keywords

Control design, electronic control unit, programming-tools

Um den Entwicklungstrend von digital-elektronischen Steuerungen in mobilen Fahrzeugen zu beschreiben, lohnt sich neben der Analyse der eigenen Branche auch ein Exkurs in zwei verwandte Gebiete.

1. Nach Angaben des Verbandes der Deutschen Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) haben sich im Anlagenbau in den letzten 30 Jahren die Investitionskosten in Mechanik von rund 90% auf 40% verringert, während sich die Investitionen in Elektronik von 7% auf 20% und in Software sogar von 4% auf rund 40% steigerten. Somit erlangen die beiden letztgenannten Bereiche mit einer Summe von rund 60% Investitionsvolumen eine erhebliche innerbetriebliche Bedeutung und können unter Umständen sogar die entscheidenden Größen der Konkurrenzfähigkeit bilden.
2. In der Automobilbranche spricht man von einer Verdopplung der Funktionsdichte (also der Anzahl von Funktionen pro Steuergerät) in jeweils fünf Jahren, zuzüglich einem stark wachsenden Anteil von Diagnosefunktionen. Die Länge des Programmcodes und die Komplexität der Softwareprojektierung wachsen somit exponentiell.

Beide Beispiele beschreiben natürlich nicht den exakten Trend in der Landtechnik, zeigen aber eine Marschroute auf, der möglichst frühzeitig Rechnung getragen werden sollte. Bei zunehmender Vernetzung einzelner Steuereinheiten ist außerdem festzustellen, dass unter Umständen eine isolierte Entwicklung einzelner Komponenten (etwa durch externe Dienstleister) im Gesamtkreis zu erheblichen Problemen führen kann, wenn nicht sehr diszipliniert Standards definiert und auch eingehalten werden. Um den oben genannten Anforderungen gewachsen zu sein und sich zu einer beschleunigten Reaktion auf veränderte Randbedingungen zu befähigen, empfiehlt sich der Einsatz moderner Entwicklungsumgebungen, die numerische Methoden zur Reglerdimensionierung mit einer flexiblen Hardware verbinden. Mit einer solchen Komplettumgebung (Total Development Environment) lässt sich der gesamte Entwicklungsprozess mit wenig Personal und entsprechend weniger Rei-

bungsverlusten im Informationsfluss durchführen – von der mathematischen Erstanalyse bis zum Festlegen logischer Steuerstrukturen und dynamischer Parameter.

Die lineare Reglerauslegung

Die klassische Methode der Reglerdimensionierung umfasst bekanntlich im ersten Schritt die analytische Modellierung der Regelstrecke, wobei grundlegende physikalische Kenntnisse schrittweise zu einer linearisierten mathematischen Gesamtbeschreibung der Regelstrecke führen sollen. In einem zweiten Schritt werden nach bekannten Stabilitätskriterien mathematisch Reglerübertragungsfunktionen berechnet, die zu dem gewünschten Verhalten des geschlossenen Regelkreises führen sollen. Bei vielen realen Anlagen (insbesondere bei hydraulischen Systemen) sind allerdings durch viele Unstetigkeiten und Nichtlinearitäten linearisierte Beschreibungen unzuverlässig und wichtige Eigenschaften einzelner Komponenten oft unbekannt.

Die numerische Reglerauslegung

Moderne Methoden und die stark angewachsene Leistungsfähigkeit von Digitalrechnern erlauben heute die Identifikation von Regelstrecken. Hierzu wird die reale Anlage mit einem beliebigen Signal angeregt und die Reaktion aufgezeichnet. Aus den Datensätzen der Anregung und der zugehörigen Antwort lässt sich durch verschiedene Algorithmen die Übertragungsfunktion numerisch bestimmen. Zu bedenken ist allerdings, dass zum einen die Messaufzeichnung stochastischen Gesetzen unterliegt, also nur eine Stichprobe mit entsprechender Ungenauigkeit gegenüber dem tatsächlichen Übertragungsverhalten verwendet wird, und zum anderen die Qualität verschiedener Algorithmen für spezielle Anwendungen stark divergieren kann. Besonderes Augenmerk verdient der Verlauf der Anregung. Wird nur ein eingeschränktes Frequenzspektrum abgedeckt (etwa in Form einer festfrequenten Sinus-Schwingung), kann die gefundene Übertragungsfunktion auch nur einen eingeschränkten Gültigkeitsbereich besitzen.

Grundsätzlich lässt sich mit einer Mischung aus analytischen und numerischen Methoden ein Gesamtmodell nahe an die Realität annähern. Für die Dimensionierung des Reglers kommen nun die linearen Schulmethoden oder ebenfalls numerische Verfahren zur Anwendung. Beispielsweise die Vorgabe von definierten unscharfen Wertemengen (Fuzzy-Regler), die numerische Optimierung einer Schar von Variablen in Ungleichungen, welche die Eigenschaften des geschlossenen Regelkreises beschreiben (Gütevektroptimierung) oder die Parametervariation des Reglers im geschlossenen Kreis mit Vorgabe des gewünschten Antwortverhaltens im Zeitbereich für definierte Anregungen (etwa Sprungantwortvorgabe). Die letztere Methode entspricht im Grunde dem Vorgehen eines Praktikers, der so lange alle Parameter verstellt, bis ein befriedigendes Gesamtergebnis erreicht wird. Die Kunst hierbei liegt in der Angabe sinnvoller Startwerte und der Einschränkung von Freiheitsgraden.

CASE -Tools

Unter einem CASE-Tool (Computer-Aided-Software-Engineering) wird ein Werkzeug zur meist grafischen Programmierung und der automatischen Erzeugung von Maschinencode („Autocode“) verstanden. Der Vorteil einer solchen Entwicklungsumgebung ist der Ausschluss von zeitraubenden Syntax- und Semantikfehlern während der Entwicklungsphase im Vergleich zur manuellen Programmierung in einer Hochsprache (etwa „C“). Die grafische Eingabe ist in der Regel leicht erlernbar und verkürzt Einarbeitungszeiten erheblich. Als Programmbe-

ispiele können unter anderem StateMate[®], MatrixX[®] oder Matlab/Simulink[®] genannt werden, wobei letzteres wegen seiner weiten Verbreitung im universitären Bereich am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik eingesetzt wird. Neben der Generierung von Autocode stehen eine Reihe von linearen und nichtlinearen Verfahren zur Messwertanalyse und Reglerauslegung bereit.

Rapid-Control-Prototyping

Die Verbindung eines Case-Tools zur Reglerauslegung und Erzeugung von Autocode mit einer leistungsfähigen und flexiblen Hardware ermöglicht den schnellen Aufbau eines Reglerversuchsmusters. Die zu regelnde Anlage ist auf Knopfdruck sofort und ohne weitere Zwischenschritte steuer- und regelbar. Im Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik sind kommerzielle Lösungen der Firma dSpace[®] mit ausreichender Anzahl an analogen und digitalen Ein- und Ausgängen im Einsatz. Das Herzstück bilden jeweils digitale Signalprozessoren, die sehr hohe Abtastraten und Untersuchungsgenauigkeiten ermöglichen.

Hardware-In-The-Loop

Wenn die endgültige Reglerstruktur gefunden und auf die preiswerte Zielplattform eines Steuergerätes gebracht ist, folgt üblicherweise ein genauer Test der Funktionen. Beim Hardware-In-The-Loop-Test wird das Steuergerät mit dem Rapid Prototype verbunden und mit der aus der Entwicklungsphase bekannten Simulation der Strecke belastet. So lassen sich auch Tests in physikalischen Grenzbereichen und für Maschine

oder Mensch gefährlichen Betriebszuständen durchführen. Für die Bearbeitung von FMEA (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse) kann dies von großer Hilfe sein.

Wirtschaftlichkeit

Die Investition in ein Total Development Environment kann leicht die Aufwendungen für ein Ingenieursjahr überschreiten. Je nach Ausbildungsstand des betreuenden Personals kann allerdings schon schnell ein deutlicher Produktivitätsgewinn festgestellt werden, der je nach Auslastung die Investition innerhalb weniger Jahre amortisiert. Zum Beispiel konnten Studenten praktisch sofort und ohne Einarbeitung Steuer- und Regelkreise aufbauen und somit aktiv an Forschungsarbeiten mit Versuchsständen teilnehmen.

Fazit

Die heutigen Anforderungen an die immer mehr an Bedeutung gewinnenden digital-elektronischen Steuerungen empfehlen die Verwendung numerischer Werkzeuge und automatischer Codegenerierung, wie sie aus der Informatik seit längerem bekannt sind. Zur Zeit ist der erzeugte Autocode noch zu wenig effektiv, um auf Seriensteuergeräten eingesetzt zu werden, aber erste Anbieter unterbreiten bereits Lösungsvorschläge. Die Bewertung des Einsatzes von numerischen Methoden in Kombination mit einer TDE in der Praxis und die Beurteilung numerischer Reglerauslegung speziell für hydraulische Anwendungen sind Gegenstand von Untersuchungen am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik.

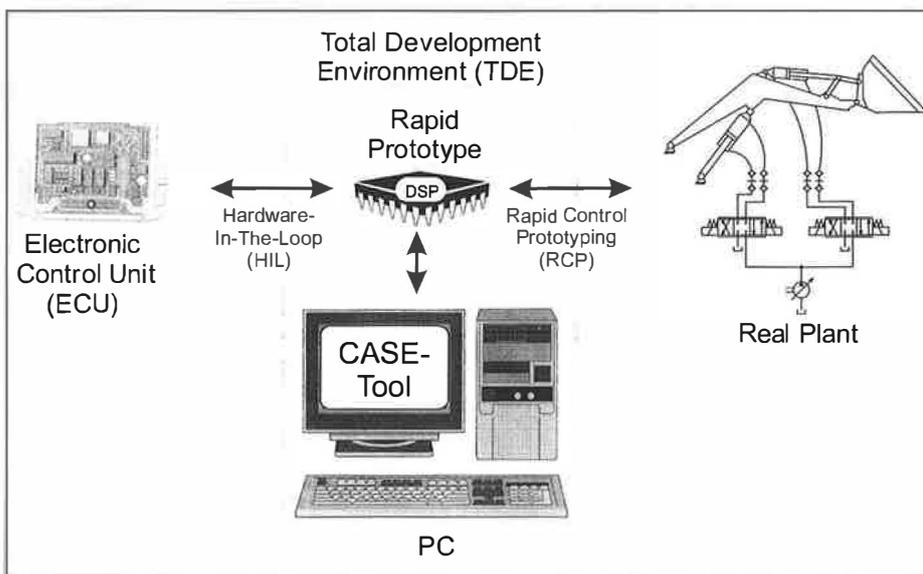


Bild 1: Prinzip einer umfassenden Entwicklungsumgebung für Steuergeräte

Fig. 1: Principle of a comprehensive development environment for a control unit

Literatur

- [1] Hanselmann, H.: DSP in der Regelungstechnik: The Total Development Environment, Embedded Intelligence'96, 14.-16. Februar, Sindelfingen
- [2] Lang, T.: Schnelle Reglerauslegung in der Hydraulik. 56. Internationale Tagung Landtechnik VDI/MEG 1998, Garching
- [3] Weisser, M. und B. Rüger: Rapid Prototyping – Ein Weg, neue Funktionsideen schneller umzusetzen. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 57 (1996), S. 108 - 115