

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Adaptive Regler
Erläuterungen und Beispiele

VDI/VDE 3685

Blatt 2

Entwurf

Adaptive controllers – Explanations and examples

Einsprüche bis 2014-05-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal <http://www.vdi.de/einspruchsportal>
- in Papierform an
VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
Fachbereich Engineering und Betrieb automatisierter Anlagen
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	2
3 Begriffe	2
4 Formelzeichen und Abkürzungen	2
5 Beispiele verschiedener Strukturen adaptiver Regelsysteme	3
5.1 Regler nach dem Modellvergleichsverfahren	3
5.2 Adaptive Regler ohne Vergleichsmodell	3
5.3 Strukturumschaltender Regler	3
5.4 „Gain“- (oder Parameter-) Scheduling-Regler	3
5.5 Extremwertregler	4
6 Beispiele für die Anwendung der Merkmalliste	4
6.1 Stromrichtergespeister Gleichstromantrieb	4
6.2 Abwasserneutralisation	5
6.3 Modellprädiktive Regelung mit mehreren Prozessmodellen (Multi-model MPC)	6
6.4 Banddickenregelung in Kaltwalzwerken	7
6.5 Industrieroboter	8
6.6 Kunststoffverarbeitungsprozesse	9
6.7 Adaptiver Zustandsregler	10
6.8 Extremalwertregler	10
Schrifttum	12

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Engineering und Betrieb automatisierter Anlagen

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3685.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI/VDE 3685 wurde überarbeitet und ergänzt. Blatt 1 wurde bereits im Dezember 2009 überprüft und ist unverändert gültig. Blatt 3 ist an die Vorgaben der aktuellen Richtlinienmendokumentenvorlage angepasst und um das Kapitel „Ausgewählte Methoden der Reglerselbsteinstellung“ erweitert worden und erneut als Entwurf veröffentlicht. Das vorliegende Blatt 2 ist leicht modifiziert und an den Stand der Technik angepasst worden.

Diese VDI-Richtlinienreihe wurde vom GMA-Fachausschuss „Prozessführung und gehobene Regelungsverfahren“ überarbeitet.

1 Anwendungsbereich

Die Begriffsdefinitionen von Blatt 1 werden anhand von Beispielen erläutert. Aufgrund der Vielfalt der unterschiedlichen Algorithmen und der zahlreichen Anwendungen wird hier eine exemplarische Darstellung und Erläuterung der Richtlinien angestrebt. Dazu werden in Abschnitt 5 verschiedene Strukturen in Form von Blockschaltbildern beispielhaft dargestellt. Abschnitt 6 zeigt die Handhabung der Merkmalliste für die Charakterisierung verschiedener in der Literatur vorgestellter adaptiver Regelverfahren.

In der industriellen Praxis werden vor allem die Inbetriebnahmeadaptation und die gesteuerte Adaptation angewendet.

Adaptive Regler mit geregelter, permanenter Adaptation sind in speziellen Anwendungsfällen, z.B. bei Regelstrecken mit ausgeprägter nicht linearer Charakteristik, erfolgreich angewendet worden. Dies ist durch zahlreiche Veröffentlichungen belegt. Die

dabei realisierten Adaptionsstrategien und -konzepte sind aber meist so speziell, dass sie selbst bei ähnlich gelagerten Problemstellungen nur schwer übertragbar sind und aus diesem Grund den Rahmen dieser Richtlinie sprengen würden.

Diese Richtlinie verwendet die Signalbezeichnungen gemäß DIN IEC 60050-351. In der internationalen Literatur wird die Regelgröße üblicherweise mit y und die Stellgröße mit u bezeichnet.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN IEC 60050-351:2009-06 Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch; Teil 351: Leittechnik (IEC 60050-351:2006) (International Electrotechnical Vocabulary; Part 351: Control technology (IEC 60050-351:2006))

VDI/VDE 3685 Blatt 1:1990-05 Adaptive Regler; Begriffe und Eigenschaften (Adaptive controllers; terms and properties)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI/VDE 3685 Blatt 1.

4 Formelzeichen und Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Benennung
e	Regeldifferenz
e^*	Modellfehler
\underline{p}	Vektor, dessen Elemente das Prozessverhalten kennzeichnen oder beeinflussen
\underline{r}	Vektor der Reglerparameter
T_b	Ausgleichszeit („balancing time“)
T_e	Verzugszeit („equivalent dead-time“)
T_s	Abtastzeit („sampling time“)
T_t	Totzeit
w	Führungsgröße
w_0	voreingestellter Wert der Führungsgröße
x	Regelgröße
y	Stellgröße
z	Störgröße
Φ	Prädiktorfehler

Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Abkürzungen verwendet:

FCC fluidized catalyst cracking unit

MIMO multi-input multi-output (= Mehrgrößen)
 ITAE integral of time-multiplied absolute value of error

5 Beispiele verschiedener Strukturen adaptiver Regelsysteme

Die Bilder beziehen sich auf Eingrößenregelungen, die adaptiven Strukturen sind aber sinngemäß auf Mehrgrößensysteme erweiterbar.

5.1 Regler nach dem Modellvergleichsverfahren

Ein Beispiel für eine adaptive Regelung nach Bild 1 ist die in Abschnitt 6 näher beschriebene Abwasserneutralisation.

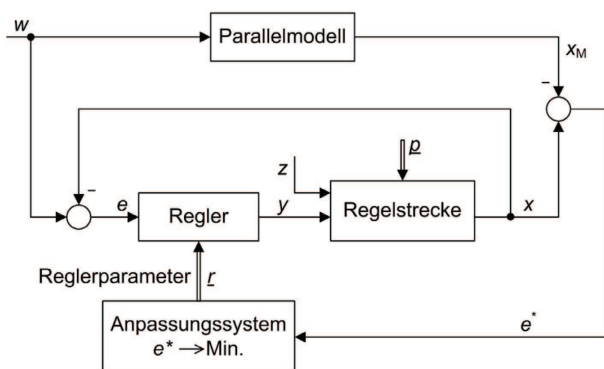


Bild 1. Direktes, deterministisches, parameteradaptives Regelsystem mit geregelter Adaption zur Minimierung des Modellfehlers e^*

5.2 Adaptive Regler ohne Vergleichsmodell

Ein Beispiel für eine adaptive Regelung nach Bild 2a ist der in Abschnitt 6 näher beschriebene adaptive Zustandsregler.

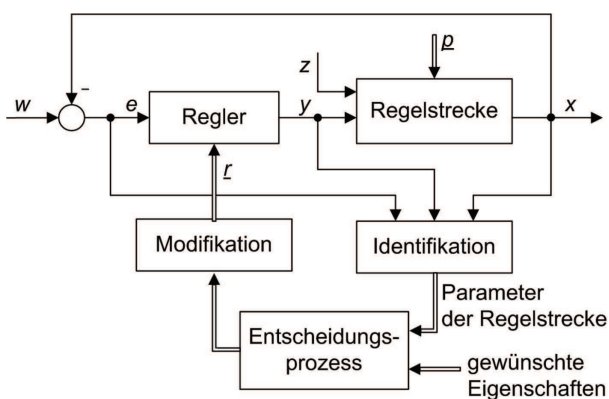


Bild 2a. Indirektes, deterministisches oder stochastisches, parameteradaptives Regelsystem mit geregelter Adaption

Ein Beispiel für eine adaptive Regelung nach Bild 2b ist der in Abschnitt 6 näher beschriebene Kunststoffverarbeitungsprozess.

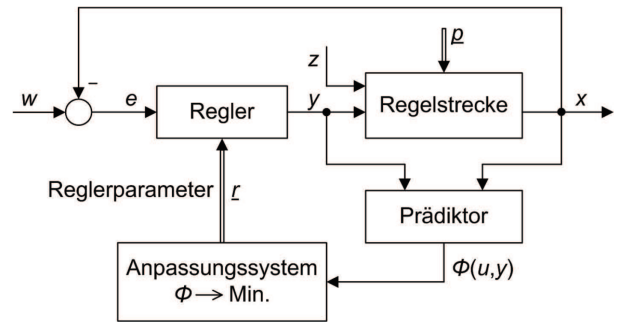


Bild 2b. Direktes, deterministisches oder stochastisches, parameteradaptives Regelsystem mit geregelter Adaption

5.3 Strukturumschaltender Regler

Ein Beispiel für eine adaptive Regelung nach Bild 3 ist der in Abschnitt 6 näher beschriebene stromrichtergespeiste Gleichstromantrieb. Weitere Beispiele sind:

- Temperaturregelung von Industrieöfen, die mit unterschiedlicher Beschickung gefahren werden
- Prozesse mit häufigen Anfahrvorgängen im Automatikbetrieb mit großer Regelabweichung, bei denen man in kürzester Zeit auf die Führungsgröße ausregeln will, jedoch ohne dass die Regelgröße überschwingt (Konzept: P-Regler mit größerer Reglerverstärkung bei großer Abweichung vom Sollwert, in der Nähe des Sollwerts Umschaltung auf einen PI-Regler)

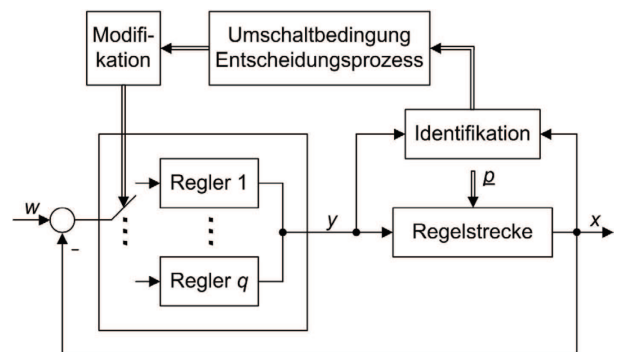


Bild 3. Direktes oder indirektes, strukturadaptives Regelsystem mit geregelter Adaption

Die Identifikation kann sich beschränken auf die Auswahl oder Kombination von Signalen, die für die Umschaltbedingung verwendet werden.

5.4 „Gain“- (oder Parameter-) Scheduling-Regler

Ein Beispiel für eine adaptive Regelung nach Bild 4 ist die in Abschnitt 6 näher beschriebene Banddickenregelung in Kaltwalzwerken.