

Modellierung und Reglerentwurf für periodische ereignisgesteuerte kontinuierliche Systeme

Axel Schild, Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik, 23. Mai 2011

Diese Arbeit präsentiert neue modellbasierte Entwurfsverfahren für den ereignisdiskreten Regler eines periodisch betriebenen ereignisgesteuerten kontinuierlichen Systems (EKS). Solche Systeme bezeichnen eine praktisch relevante Unterklasse der hybriden dynamischen Systeme mit vielen technischen Anwendungen, wie beispielsweise Gleichspannungsschaltwandler, Verbrennungsmotoren und Druckwechseladsorptionsanlagen. Bisher fehlt in der Literatur ein generalisierbares Entwurfsvorgehen für diese periodischen Systeme.

Ereignisgesteuerte kontinuierliche Systeme bilden einen Regelkreis, bestehend aus einer Regelstrecke mit kontinuierlicher Dynamik und wertdiskretem Steuereingang und einem modular aufgebauten ereignisdiskreten Regler, der die *ereignisbasierte Schaltstrategie* implementiert. Die Regelstrecke kann über den Steuereingang zwischen einer endlichen Anzahl von diskreten Betriebsmodi hin- und her geschaltet werden. Da sowohl die Struktur als auch die Parameter der Regelstrecke vom aktivierten Betriebsmodus abhängen, bewirkt ein durch den Regler ausgeführtes Umschalten des Betriebsmodus eine wesentliche Veränderung der Streckendynamik. Der Regler ist so zu entwerfen, dass er die Betriebsmodi der Regelstrecke in der richtigen Reihenfolge und zu den richtigen Zeitpunkten aktiviert, um einer Auswahl von wertkontinuierlichen Regelgrößen einen gewünschten zeitlichen Verlauf aufzuprägen. Betrachtet werden EKS, bei denen die Funktionalität ein fortwährendes Umschalten über den gesamten Betriebszeitraum erfordert und bei denen die zeitliche Distanz zwischen zwei Schaltvorgängen im Bereich der Zeitkonstanten der Streckendynamik liegt.

Diese Arbeit betrachtet Anforderungen für das transiente und das stationäre Verhalten des geregelten Systems:

- *Arbeitspunktwechsel* und *An- und Abfahrvorgänge* sind für die Regelstrecke *optimal* im Sinne eines formalen Gütekriteriums und gleichzeitig *sicher* auszuführen.
- Im störungsfreien *periodischen stationären Betrieb* muss der Streckenzustand auf einen vorgegebenen Grenzyklus gezwungen werden (*orbitale Stabilität*). Unter dem Einfluss von Störungen ist der Zustand zumindest in einer Nachbarschaft dieses Grenzyklus zu halten (*orbitale Störkompensation*).

Zur Strukturierung des diskreten Reglers werden zwei komplementäre Realisierungsstrategien vorgeschlagen:

- Eine gedächtnislose Repräsentation der Schaltstrategie mittels stationärer Schaltebenen im Ausgangsraum. Ein Schaltvorgang wird hierbei immer dann ausgelöst, wenn die Ausgangstrajektorie eine der Ebenen durchstößt.
- Eine zustandsbehaftete Repräsentation der Schaltstrategie mittels einer zeitvariablen Schaltebene im Ausgangsraum, deren Position und Orientierung von einem Schaltebenenregler an den aktuellen Anlagenzustand angepasst wird.

Bezüglich des ersten Falls werden effiziente Berechnungsverfahren für geeignete Schaltflächengeometrien erarbeitet, im zweiten Fall steht die Auslegung und die effiziente Auswertung des im Schaltebenenregler implementierten Adaptionsgesetzes im Fokus. Der in der Arbeit für beide Realisierungsansätze verfolgte Lösungsweg basiert auf der Überführung der hybriden Entwurfsprobleme in äquivalente Reglerentwurfsprobleme für periodische zeitdiskrete Systeme. Zum Entwurf lokal gültiger Schaltstrategien werden aus der Literatur bekannte Methoden zielgerichtet erweitert, so dass alle für die Äquivalenz notwendigen Nebenbedingungen eingehalten werden. Das berechnete Entwurfsergebnis ist sowohl in eine Schaltebenenkonfiguration als auch in einen Schaltebenenregler übertragbar.

Für den Entwurf von global gültigen Schaltbedingungen, die sowohl transiente als auch stationäre Ziele berücksichtigen, werden Methoden der Schaltzeitoptimierung, der Störungsregelung und der Lösungsfortsetzung zu neuen Entwurfs- und Regelalgorithmen für EKS kombiniert. Zunächst wird das Konzept der modellprädiktiven Regelung auf die Klasse der EKS methodisch erweitert. Anschließend werden Ansätze zur gedächtnislosen (expliziten) und zur zustandsbehafteten (impliziten) Realisierung des optimalen Schaltzeitregelgesetzes erarbeitet. Die Anwendbarkeit und die Leistungsfähigkeit der entwickelten Regelungs- und Entwurfsverfahren werden an drei ausgewählten Laboranlagen aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen demonstriert.