

# Ereignisbasierte Regelung physikalisch gekoppelter Systeme

Christian Stöcker

Lehrstuhl für Automatisierungstechnik und Prozessinformatik

Die ereignisbasierte Regelung ist eine Methode, die zum Ziel hat, den Informationsaustausch zwischen den Komponenten eines Regelkreises über den Rückführzweig an das Verhalten der Regelstrecke anzupassen. Dabei werden nur dann Daten übertragen, wenn ein Ereignis die Notwendigkeit einer Informationsrückführung signalisiert, um ein gewünschtes Verhalten des Regelkreises sicherzustellen. Da die Ereignisauslösung im Allgemeinen in nicht-äquidistanten Zeitabständen erfolgt, unterscheidet sich das Konzept der ereignisbasierten Regelung wesentlich von einer herkömmlichen zeitdiskreten Regelung, bei welcher die Messung der Ausgangssignale der Regelstrecke und die Aktualisierung der Stellgrößen mit einer konstanten Abtastzeit passiert. Die bestehenden Methoden für den Regelungsentwurf und die Analyse des Regelkreisverhaltens lassen sich folglich nicht auf ereignisbasierte Regelungen übertragen und es sind daher neue Entwurfs- und Analysemethoden zu entwickeln.

Das Haupteinsatzgebiet ereignisbasierter Regelungsmethoden sind digital vernetzte dynamische Systeme. Dies sind Regelkreise, bei denen die Rückführung über ein digitales Kommunikationsnetzwerk geschlossen wird. Durch den Einsatz von ereignisbasierten Regelungen in diesen Systemen soll die Netzwerkauslastung auf ein für die Lösung der Regelungsaufgabe notwendiges Maß beschränkt und der Kommunikationsaufwand gegenüber einer zeitdiskreten Abtastregelung deutlich reduziert werden.

In dieser Arbeit wird ein bestehender Ansatz zur ereignisbasierten Zustandsrückführung für Systeme mit zentralen Sensor- und Aktorknoten erweitert auf Systeme, die aus physikalisch gekoppelten Teilsystemen bestehen. Der Fokus liegt auf der Untersuchung neuer Strukturen ereignisbasierter Regelungen. Dabei wird der Ansatz verfolgt, dass der ereignisbasierte Regler aus mehreren dezentralen Reglereinheiten besteht, die über ein Kommunikationsnetzwerk Informationen austauschen können. Das Hauptergebnis dieser Arbeit sind drei verschiedene Methoden zur ereignisbasierten Regelung physikalisch gekoppelter Systeme. Diese Methoden sind erstens eine *verteilte Realisierung einer zentralen ereignisbasierten Regelung*, zweitens eine *dezentrale ereignisbasierte Regelung* und drittens eine *verteilte ereignisbasierte Regelung*. Die drei Ansätze unterscheiden sich im Wesentlichen in zwei Aspekten voneinander: erstens in den verwendeten Modellinformationen für den Entwurf der Reglereinheiten und zweitens in dem Kommunikationsaufwand für den Datenaustausch zwischen den Reglereinheiten. Je stärker die Kopplungen zwischen den Teilsystemen sind, desto mehr Modellinformationen über das Gesamtsystem werden in den einzelnen Reglereinheiten zur Ermittlung der Stellgrößen und zur Bestimmung der Ereigniszeitpunkte benötigt und desto größer ist der Kommunikationsaufwand für den Informationsaustausch zwischen den Reglereinheiten.

Die vorgestellten Methoden zur ereignisbasierten Regelung physikalisch gekoppelter Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass der ereignisbasierte Regler das Verhalten einer kontinuierlichen Zustandsrückführung mit einstellbarer Genauigkeit approximiert. Darüber hinaus wird für alle untersuchten Ansätze nachgewiesen, dass die minimale Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen vergeht, durch eine untere Schranke begrenzt ist.

Weitere Beiträge dieser Arbeit bestehen in der Entwicklung neuer Methoden für die Stabilitätsanalyse gekoppelter ereignisbasierter Regelkreise, für die Schätzung von Kopplungseingangssignalen zur Reduzierung der Ereignisauslösung in der dezentralen ereignisbasierten Regelung und für die ereignisbasierte Regelung physikalisch gekoppelter Systeme in denen der Zustand einiger Teilsysteme nicht messbar ist.

Alle vorgestellten Ansätze zur ereignisbasierten Regelung physikalisch gekoppelter Systeme werden in Simulationen und Experimenten an einem thermofluiden Prozess erprobt. Diese Untersuchungen zeigen, dass erstens die vorgestellten Methoden robust gegenüber Modellunsicherheiten sind, zweitens die Informationsrückkopplung durch die ereignisbasierte Regelung an das Systemverhalten angepasst wird und drittens der Kommunikationsaufwand über die Rückführung gegenüber einer konventionellen zeitdiskreten Regelung deutlich reduziert wird.