



Doctoral Thesis

## Control of discrete event systems theory and application

**Author(s):**

Balemi, Silvano

**Publication Date:**

1992

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000666159> →

**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](#).

Diss. ETH No. 9775

**CONTROL OF DISCRETE EVENT SYSTEMS:  
THEORY AND APPLICATION**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

**SILVANO BALEMI**

Dipl. El.-Ing. ETH, MSEE CalTech  
born May 6, 1962  
citizen of Fusio (TI), Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. M. Mansour, examiner  
Prof. Dr. T. Kailath, co-examiner  
Prof. Dr. L. Guzzella, co-examiner

1992



CatE

## ABSTRACT

Control theory has been traditionally concerned with control of systems of continuous variables, modeled by difference or differential equations. Another important class of systems however is described by states which have logical or symbolic values instead of numerical ones. The changes of the system's states are events triggered by either an external action or a spontaneous change in the system. Such systems are called *discrete event systems*. The need to consider more closely this class of systems derives from the effort to extend systems theory to be able to control manufacturing systems, communication networks and other systems whose behavior can be described by a set of sequences of discrete events.

A pioneering work in the field of discrete event systems has been performed by Ramadge and Wonham. They proposed a model in which the events, all generated by a plant, are divided into two classes: controllable and uncontrollable events. Through the disablement of controllable events the behavior of the plant can be influenced to meet given specifications.

Based on their model, an *input/output perspective* on control of discrete event systems is introduced in this thesis. Then, a plant receives *commands* and reacts to these commands with *responses*. Symmetrically, a controller accepting the responses from the plant as inputs, and producing commands as outputs, is used to enforce a desired behavior on the plant.

The solution to many control problems arising from this perspective can be tracked back to the solution of similar problems in the framework of Ramadge and Wonham. However, if the transmission of commands and responses between plant and controller is affected by *delays*, new results are needed. After having extended the known results to include delays, a *structure for the control* of a general discrete event system, based on the presented input/output approach, is proposed.

Using this structure, it is shown how the control software of one of the first known *applications* of discrete event systems control, an equipment piece for semiconductor manufacturing, has been designed.

## SOMMARIO

La teoria del controllo si è occupata tradizionalmente di sistemi di variabili continue, modellati da equazioni differenziali oppure da equazioni alle differenze. Un'altra importante classe di sistemi è invece descritta da variabili che assumono valori simbolici anzichè valori numerici e che cambiano in seguito a eventi causati da un'azione esterna o da un cambio spontaneo nel sistema. Tali sistemi sono chiamati *sistemi a eventi discreti*. La necessità di considerare più in dettaglio questa classe di sistemi deriva dal tentativo di estendere la teoria del controllo per poter controllare sistemi di produzione, reti di comunicazione e altri sistemi, il comportamento dei quali può essere descritto da sequenze di eventi discreti.

Il lavoro pionieristico nel campo del controllo di questi sistemi è stato eseguito da Ramadge e Wonham. Essi propongono un modello nel quale gli eventi generati da un impianto sono divisi in due classi: eventi controllabili ed incontrollabili. Tramite l'iniziazione di eventi controllabili, il comportamento dell'impianto può essere influenzato per soddisfare date specifiche.

Partendo dal loro modello, questa tesi presenta un'interpretazione *entrata/uscita* del controllo di sistemi a eventi discreti. Un impianto riceve dei *comandi* e reagisce a questi con delle *risposte*. Simmetricamente, un controllore accetta le risposte ed invia comandi all'entrata dell'impianto per imporre un comportamento desiderato.

La soluzione di molti problemi nati da questa interpretazione può essere ricondotta alla soluzione di problemi simili posti nel contesto del modello di Ramadge e Wonham. Ciò nonostante, nuovi risultati sono necessari se la trasmissione di comandi e risposte tra il controllore e l'impianto è sottoposto a *ritardo*. Dopo aver esteso i risultati conosciuti per includere ritardi nelle comunicazioni si propone una *struttura per il controllo* di un sistema a eventi discreti generico, ispirata all'interpretazione entrata/uscita.

Usando questa struttura, si mostra come è concepito il software per il controllo di una delle prime *applicazioni* di controllo di sistemi a eventi discreti conosciute: una macchina per la produzione di circuiti integrati.

## KURZFASSUNG

Traditionellerweise hat sich die Regelungstechnik mit der Regelung von Systemen beschäftigt, die durch Differenzen- oder Differentialgleichungen mit kontinuierlichen Variablen beschrieben werden. Eine andere wichtige Klasse von Systemen ist jedoch durch Zustände beschrieben, die logische oder symbolische statt numerische Werte aufweisen, und deren Zustandsänderungen Ereignisse sind, die entweder durch äussere Eingriffe oder spontane Änderungen im System selbst ausgelöst werden. Solche Systeme nennt man *Diskrete Ereignissysteme*. Die Notwendigkeit, diese Klasse von Systemen näher zu untersuchen rührt vom Versuch her, die Systemtheorie auszuweiten, um Produktionssysteme, Kommunikationsnetze und andere Systeme, deren Verhalten durch Abfolgen diskreter Ereignisse beschrieben werden kann, regeln zu können.

Eine Pionierarbeit im Bereich der Diskreten Ereignissysteme wurde von Ramadge und Wonham geleistet. Sie schlugen ein Modell vor, in dem die Ereignisse, die alle von der betrachteten Strecke erzeugt werden, in zwei Untermengen geteilt werden: die steuerbaren und nicht steuerbaren Ereignisse. Durch die dynamische Blockierung von steuerbaren Ereignissen kann das Verhalten der Strecke beeinflusst werden, um vorgegebene Spezifikationen zu erfüllen.

Auf ihrem Modell basierend, wird in der vorliegenden Arbeit eine *Ein-/Ausgabe-Betrachtung* der Regelung Diskreter Ereignissysteme eingeführt. Bei dieser Betrachtungsweise empfängt die Strecke *Befehle* und reagiert auf diese Befehle mit *Antworten*. Der Regler, der die Antworten von der Strecke als Eingaben erhält und Befehle als Ausgaben produziert, wird in symmetrischer Weise eingesetzt, um der Strecke das gewünschte Verhalten aufzuprägen.

Die Lösung für viele Regelungsprobleme, die sich aus dieser Betrachtungsweise ergeben, kann auf die Lösung ähnlicher Probleme im Modell von Ramadge und Wonham zurückgeführt werden. Falls jedoch die Übertragung von Befehlen und Antworten zwischen Strecke und Regler durch *Verzögerungen* behindert wird, sind neue Resultate gefordert. Nachdem die bekannten Ergebnisse erweitert worden sind, um die Verzögerungen einzuschliessen, wird eine auf der Ein-/Ausgabe-Betrachtung basierende *Struktur für die Regelung* eines Diskreten Ereignissystems vorgeschlagen.

Mit Hilfe dieser Struktur wird gezeigt, wie die Regelungssoftware gestaltet wurde für eine der ersten bekannten *Anwendungen* der Regelung Diskreter Ereignissysteme, eine Maschine zur Herstellung von Integrierten Schaltungen.

## RÉSUMÉ

La théorie du contrôle s'est traditionnellement occupée de systèmes à variables continues, modélisés par des équations différentielles ou par des équations aux différences. Un autre groupe de systèmes par contre, est décrit par des variables qui prennent des valeurs symboliques ou logiques plutôt que des valeurs numériques et qui changent à la suite d'événements causés par des actions externes ou par des changements spontanés dans le système. Ces systèmes s'appellent *systèmes à événements discrets* et permettent la description de certains systèmes de production, communication etc. Une approche méthodique du contrôle de tels systèmes réels nécessite une extension de la théorie des systèmes à l'étude des systèmes à événements discrets.

Le travail pionnier dans ce domaine du contrôle a été fait par Ramadge et Wonham. Ils proposent un modèle où les événements générés par un système sont partagés en deux classes: événements contrôlables et événements incontrôlables. En empêchant les événements contrôlables le comportement du système peut être influencé afin de satisfaire des spécifications données.

A partir de ce modèle, la présente thèse propose une interprétation *entrée/sortie* du contrôle des systèmes à événements discrets. Un système reçoit des *commandes* et réagit avec des *réponses*. De façon symétrique, un contrôleur accepte les réponses du système et lui envoie les commandes nécessaires à l'obtention du comportement désiré.

La solution à beaucoup de problèmes liés à cette interprétation peut être réduite à la solution de problèmes similaires dans le modèle de Ramadge et Wonham. Malgré cela, de nouveaux résultats sont nécessaires si la transmission des commandes et des réponses entre le contrôleur et le système est soumise à des *retards*. Après avoir étendu les résultats connus pour inclure les retards dans les communications on propose une *structure générale pour le contrôle* d'un système à événements discrets basée sur l'interprétation *entrée/sortie*.

En utilisant cette structure, on montre comment a été conçu le logiciel pour le contrôle d'une des premières *applications* connues de contrôle de systèmes à événements discrets: une machine pour la production de circuits intégrés.