

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

АКТИВНАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

НОВОСИБИРСК
2009

УДК 681.5.015.4
Д 332

Коллектив авторов

В.И. Денисов, В.М. Чубич, О.С. Черникова, Д.И. Бобылева

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Г.С. Лбов*;
д-р техн. наук, проф. *В.И. Хабаров*

*Работа выполнена в рамках ведомственной целевой программы
«Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)»,
проект РНП-2.1.2.43*

Денисов В.И.

Д 332 Активная параметрическая идентификация стохастических линейных систем: монография / В.И. Денисов, В.М. Чубич, О.С. Черникова, Д.И. Бобылева. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 192 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-1182-7

Излагаются теоретические и прикладные аспекты проблемы активной параметрической идентификации многомерных стохастических линейных дискретных и непрерывно-дискретных систем, описываемых моделями в пространстве состояний. Рассматривается наиболее общий характер вхождения неизвестных параметров: в матрицы состояния, управления, возмущения, измерения, в начальные условия и в ковариационные матрицы помех динамики и ошибок измерений в различных комбинациях. Приводятся алгоритмы активной параметрической идентификации во временной и частотной областях, позволяющие решать задачи оптимального оценивания параметров методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов с привлечением прямых и двойственных градиентных процедур синтеза оптимальных входных сигналов.

Предназначена для специалистов, научные и профессиональные интересы которых связаны с моделированием динамических объектов стохастической природы.

УДК 681.5.015.4

ISBN 978-5-7782-1182-7

© Коллектив авторов, 2009
© Новосибирский государственный
технический университет, 2009

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
NOVOSIBIRSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ACTIVE PARAMETRIC IDENTIFICATION OF STOCHASTIC LINEAR SYSTEMS

Monograph

NOVOSIBIRSK
2009

UDC 681.5.015.4
D 332

Reviewers Prof. G.S. Lbov, D.Sc. (Eng.)
Prof. V.I. Khabarov, D.Sc. (Eng.)

*The work has been conducted within the departmental task programme
'Development of the Scientific Potential of Higher School (2006-2008)',
project RNP-2.1.43*

Denisov V.I.

D 332 Active Parametric Identification of Stochastic Linear Systems: Monograph / V.I. Denisov, V.M. Chubich, O.S. Chernikova, D.I. Bobyleva. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2009. – 192 pp. (the NSTU Monographs series).
ISBN 978-5-7782-1182-7

Theoretical and application aspects of the problem of active parametric identification of multidimensional stochastic linear discrete and discrete-continuous systems described by models in the state space are presented. The most general character of entering unknown parameters into matrices of state, control, disturbance and measurement, into initial conditions and into covariance matrices of dynamics disturbances and measurement errors in various combinations is considered. Algorithms of active parametric identification in the time and frequency domains are given which allow one to solve problems of optimal parameter estimation by the maximum likelihood method and the least-squares method with using direct and dual gradient procedures of optimal input signal synthesis.

The book is designed for specialists who take scientific and professional interest in modeling dynamic stochastic objects.

UDC 681.5.015.4

ISBN 978-5-7782-1182-7

© Denisov V.I., Chubich V.M.,
Chernikova O.S., Bobyleva D.I., 2009
© Novosibirsk State Technical
University, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	9
1. Процедура активной идентификации.....	9
2. Современное состояние проблемы активной идентификации стохастических линейных дискретных и непрерывно-дискретных систем	13
Г л а в а 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ	17
1.1. Оценивание неизвестных параметров.....	17
1.2. Планирование оптимальных входных сигналов	19
1.2.1. Исходные понятия теории планирования оптимального эксперимента.....	19
1.2.2. Прямая градиентная процедура синтеза непрерывных оптимальных планов	31
1.2.3. Двойственная градиентная процедура синтеза непрерывных оптимальных планов.....	33
Г л а в а 2. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АКТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ	38
2.1. Оценивание неизвестных параметров дискретных систем	38
2.1.1. Структура дискретной модели	38
2.1.2. Критерии идентификации для дискретных систем	39
2.1.3. Алгоритмы вычисления значений и градиентов критериев идентификации.....	43
2.2. Оценивание неизвестных параметров непрерывно-дискретных систем.....	48
2.2.1. Структура непрерывно-дискретной модели	48
2.2.2. Критерии идентификации для непрерывно-дискретных систем	50
2.2.3. Алгоритмы вычисления значений и градиентов критериев идентификации.....	52

2.3. Планирование оптимальных входных сигналов для дискретных систем.....	59
2.3.1. Вывод соотношения для информационной матрицы одноточечного плана.....	59
2.3.2. Алгоритм вычисления информационной матрицы одноточечного плана.....	73
2.3.3. Вычисление градиентов критериев оптимальности...	75
2.4. Планирование оптимальных входных сигналов для непрерывно – дискретных систем	81
2.4.1. Вывод соотношения для информационной матрицы одноточечного плана.....	81
2.4.2. Алгоритм вычисления информационной матрицы одноточечного плана.....	98
2.4.3. Вычисление градиентов критериев оптимальности...	100
Глава 3. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АКТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ.....	104
3.1. Оценивание неизвестных параметров дискретных систем	104
3.2. Планирование оптимальных входных сигналов для дискретных систем.....	108
3.2.1. Вывод соотношения для информационной матрицы одноточечного плана.....	108
3.2.2. Алгоритм вычисления информационной матрицы одноточечного плана.....	114
3.2.3. Вычисление градиентов критериев оптимальности...	121
Глава 4. АКТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ.....	124
4.1. Дискретные системы	124
4.1.1. Система управления бурильной машиной	124
4.1.2. Система управления электрокардиостимулятором	145
4.2. Непрерывно-дискретные системы.....	158
4.2.1. Система регулирования температуры в жилом помещении	158
4.2.2. Система управления боковым движением автобуса ..	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	180
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	181

CONTENTS

PREFACE.....	7
INTRODUCTION	9
1. The Procedure of Active Identification.....	9
2. The State-of-the-Art Problem of Active Identification of Stochastic Li- near Discrete and Discrete-Continuous Systems	13
Chapter 1. THEORETICAL ASPECTS OF ACTIVE IDENTIFICATION	17
1.1. Unknown parameter estimation	17
1.2. Optimal input signal planning.....	19
1.2.1. Basic concepts of the optimal experiment planning theory	19
1.2.2. The direct gradient procedure of continuous optimal plan synthesis	31
1.2.3. The dual gradient procedure of continuous optimal plans	33
Chapter 2. APPLICATION ASPECTS OF ACTIVE IDENTIFICATION IN THE TIME DOMAIN	38
2.1 Estimation of Unknown Parameters of Discrete Systems	38
2.1.1. A Discrete model structure	38
2.1.2. Identification tests for discrete systems	39
2.1.3. Calculation algorithms of identification test values and gradients	43
2.2. Estimation of unknown parameters of discrete-continuous systems.....	48
2.2.1. A discrete-continuous model structure	48
2.2.2. Identification tests for discrete-continuous systems	50
2.2.3. Calculation algorithms of identification test values and gradients	52
2.3. Planning of optimal input signal for discrete systems.....	59
2.3.1. Derivation of the information matrix relation of a single- point plan.....	59

2.3.2. A calculation algorithm of a single-point plan information matrix	73
2.3.3. Calculation of optimality test gradients	75
2.4. Planning of optimal input signals for discrete-continuous systems	81
2.4.1. Derivation of an information matrix relation of a single-point plan.....	81
2.4.2. A calculation algorithm of a single-point plan information matrix	98
2.4.3. Calculation of optimality test gradients.....	100
Chapter 3 APPLICATION ASPECTS OF ACTIVE IDENTIFICATION IN THE FREQUENCY DOMAIN	104
3.1. Estimation of unknown parameters of discrete system	104
3.2. Planning of optimal input signals for discrete systems	108
3.2.1. Derivation of an information matrix relation of a single-point plan.....	108
3.2.2. A calculation algorithm of a single-point plan information matrix	114
3.2.3. Calculation of optimality test gradients.....	121
Chapter 4. ACTIVE IDENTIFICATION OF DYNAMIC SYSTEMS OF VARIOUS NATURE	124
4.1. Discrete systems.....	124
4.1.1. A control system of a drilling machine.....	124
4.1.2. A control system of an electric cardiostimulator	145
4.2. Discrete-continuous systems.....	158
4.2.1. A temperature control system for dwelling houses	158
4.2.2. A control system of a bus lateral movement	170
CONCLUSION.....	180
REFERENCES	181