

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Baumechanik

Band 11

Katrin Runtemund

**Output-only measurement-based parameter
identification of dynamic systems subjected to
random load processes**

Shaker Verlag
Aachen 2014

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2595-8

ISSN 1864-1806

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract

In the present work a new output-only measurement based method is proposed which allows identifying the modal parameters of structures subjected to natural loads such as wind, ocean waves, traffic or human walk. The focus lies on the dynamic excitation of structures by wind turbulences and wind-induced ocean waves modeled as stationary Gaussian random process. In contrast to the existing output-only identification techniques which model the unmeasured load as white noise process, statistical information about the dynamic excitation, e.g. obtained by measurements of the wind fluctuations in the vicinity of the structure, are taken into account which improve the identification results as well as allow identifying the unmeasured load process exciting the structure.

The identification problem is solved on basis of a recently developed method called *H-fractional spectral moment (H-FSM) decomposition* of the transfer function $H(\omega)$ which allows representing Gaussian random processes with known power spectral density (PSD) function as output of a linear fractional differential equation with white noise input.

In the present work the efficiency and accuracy of this method is improved by the use of an alternative fractional operator and a modification is proposed which makes it applicable to short as well as long memory processes. The most widely used wind and ocean wave model spectra are compared and discussed, and the corresponding H-FSMs are provided in closed form allowing to simulate realization of the processes in a straight forward manner. Based on the FSM decomposition a state space representation of arbitrarily correlated Gaussian processes is developed in closed form which neither requires the factorization of the PSD function nor any optimization procedure. Combined with the state space model of the structure, it leads to an overall model with white noise input, which can be efficiently combined with any state-space model-based parameter identification algorithms such as the well known (weighted) extended Kalman filter algorithm used here. The method is successfully applied for the stiffness and damping estimation of single and multi-degree of freedom systems subjected to wind and wind-wave turbulences as well as for the estimation of the unmeasured load process. Finally, a sensitivity analysis of the filter accuracy is conducted in order to improve the accuracy and efficiency of the method.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine neue Methode zur Identifikation modaler Parameter dynamischer Systeme entwickelt, die auf (Output-only) Messungen der Systemantwort infolge der natürlichen Anregung durch Lasten wie z.B. Wind, Wellen, Verkehr oder Personen basiert. Der Fokus der Arbeit liegt hierbei auf der stochastischen Anregung durch Windturbulenzen und windinduzierten Wellen, welche als Realisation stationärer Gaußscher Prozesse modelliert werden. Im Gegensatz zu bestehenden Output-only Identifikationsverfahren, die die unbekannt Lasten vereinfacht als weiße Rauschprozesse beschreiben, werden hier zusätzliche statistische Informationen, die beispielsweise durch Windmessung in der Nähe der Struktur gewonnen werden, berücksichtigt. Dies führt nicht nur zu einer Verbesserung der Parameterschätzung, sondern ermöglicht auch die gleichzeitige Lastidentifikation.

Das entwickelte Identifikationsverfahren basiert auf einer kürzlich entwickelten Methode, der sogenannten *H-fractional spectral moment (H-FSM) decomposition*, d.h. der Zerlegung der Übertragungsfunktion $H(\omega)$ mit Hilfe von spektralen Momenten fraktionaler Ordnung. Die Methode erlaubt einen Gaußschen Prozess mit gegebener Leistungsspektraldichte (PSD) als Output einer linearen fraktionalen Differentialgleichung mit weißem Rauschen als Input zu simulieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Effizienz und die Genauigkeit dieser Methode durch die Verwendung eines alternativen fraktionalen Integraloperators verbessert und die Definition der H-FSMs derart modifiziert, dass die Methode nicht nur für sogenannte *Short Memory* Prozesse mit exponentiell abklingender Autokorrelation, sondern auch für lang-korrelierte (*Long Memory*) Prozesse anwendbar ist. Die gebräuchlichsten Wind und Windwellen charakterisierenden Modellspektren werden diskutiert und die zugehörigen H-FSMs in analytischer Form zur Verfügung gestellt, mit Hilfe derer, Realisationen der Prozesse in einfacher Weise generiert werden können. Auf der H-FSM Zerlegung aufbauend, wird ein für beliebig korrelierte Lastprozesse gültiges lineares Zustandsraummodell in analytischer Form hergeleitet, das im Gegensatz zu gebräuchlichen Methoden weder die spektrale Faktorisierung der Leistungsspektraldichte noch die Anwendung eines Optimierungsverfahrens erfordert. Es erlaubt die Lasten in die Systemgleichungen zu integrieren, so dass das System mit korrelierten Lasten auf ein Gesamtsystem höherer Ordnung mit weißem Rauschen als Input zurückgeführt werden kann, dessen Parameter dann mit einem beliebigen zustandsraumbasierten Verfahren, wie z.B. das hier verwendete Erweiterte Kalman Filter, identifiziert werden können. Die Methode wird für die Schätzung der Steifigkeits- und Dämpfungsparameter von Ein- und Mehrfreiheitsgradsystemen unter wind- und welleninduzierten Lasten sowie für die Schätzung des unbekannt Lastprozesses verwendet. Schließlich wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, mit dem Ziel, die Genauigkeit und die Effizienz des Algorithmus weiter zu verbessern.