



Doctoral Thesis

Ein Beitrag zur Verbesserung von Finite-Elemente-Modellen anhand modaler Parameter Evaluation von Methoden

Author(s):

Gysin, Hanspeter

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000668273> →

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](#).

27. Nov. 1992

Diss. ETH Nr. 9849

Ein Beitrag zur Verbesserung von Finite-Elemente-Modellen anhand modaler Parameter

EVALUATION VON METHODEN

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

HANSPETER GYSIN
Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 16. März 1957
von Wittinsburg BL

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. G. Schweitzer, Referent
Prof. Dr. E. Anderheggen, Korreferent

G. Schweitzer

25.11.92

1992



DATE

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden Methoden evaluiert, welche anhand der modalen Parameter aus experimenteller und analytischer Modalanalyse fehlerhafte Bereiche im Finite-Elemente-Modell mechanischer Strukturen lokalisieren und korrigieren und damit zu einem verbesserten FE-Modell führen. Es wird die Annahme *linearer Modelle* und die Annahme *unveränderlicher Topologie* getroffen.

Zuerst wird sowohl für die FE-Analyse als auch für die experimentelle Modalanalyse (MA) eine systematische Bestandsaufnahme der möglichen **Fehlerquellen** und deren allfälliger Behebung gemacht. Danach wird der FE-Modellverbesserungsprozess in vier Teilschritte unterteilt. Für diese Teilschritte werden verschiedene Methoden evaluiert:

In einem ersten Schritt muss eine **Korrelation** sowohl der geometrischen als auch der modalen FE- und MA-Modelle der Struktur vorgenommen werden. Für diese Aufgabe existieren effiziente und praxisgerechte Methoden. Einzig bei der Umwandlung der komplexen Eigenvektoren in reelle Eigenvektoren werden Approximationsfehler in den Modellverbesserungsprozess eingebracht. Durch Entkopplung der Steifigkeits- und Dämpfungsanteile im modalen Zustandsraum wird dieses Problem dennoch zufriedenstellend gelöst.

In einem zweiten Schritt wird die Inkompatibilität der unterschiedlichen Modelldimensionen in bezug auf die Anzahl Freiheitsgrade durch die **Expansion** der MA-Eigenvektoren auf die FE-Dimension überwunden. Die Evaluation der Expansionsmethoden ergibt, dass die dynamischen Expansionsmethoden die besten Resultate, d.h. die kleinsten Abweichungen vom 'exakten' MA-Eigenvektor, ergeben. Dies gilt sowohl für lokale als auch für globale Fehler und für grosse sowie kleine Fehler.

In einem dritten Schritt werden mehrere Methoden zur **Lokalisierung** der Modellierungsfehler untersucht. Es zeigt sich, dass Methoden existieren, welche nur eine einzige MA-Schwingungsform zur Bezeichnung der fehler-

behafteten FE-Freiheitsgrade benötigen. Allerdings muss das MA-Modell dazu die gleiche (Matrix)-Dimension wie das FE-Modell aufweisen. Da diese Voraussetzung in der Realität nie erfüllt ist, werden die Lokalisierungsmethoden unter Einbezug der Approximationen aus der Expansion evaluiert. Dabei zeigt sich, dass die Fehler aus dieser Approximation - obwohl sehr klein - in den meisten Fällen eine eindeutige Fehlerlokalisierung verunmöglichen. Immerhin gibt es eine Konstellation, für welche eine eindeutige Fehlerlokalisierung möglich ist; nämlich wenn einige MA-Messpunkte örtlich mit den fehlerbehafteten FE-Strukturbereichen zusammenfallen und wenn bestimmte Kombinationen von Expansions- und Lokalisierungsmethoden verwendet werden.

In einem vierten Schritt wird die **Korrektur** der im vorherigen Lokalisierungsschritt als fehlerhaft identifizierten Parameter des FE-Modelles vorgenommen. Die modalen FE- und MA-Modelle sollen möglichst gut übereinstimmen. Die untersuchte iterative Remodeling-Methode, welche auf einer Bayes'schen Parameterschätzung beruht, erfüllt diese Aufgabe. Allerdings kann das dazu aufgestellte Gleichungssystem schlecht konditioniert sein, was zu Divergenz führt.

Die Evaluation der Korrelations-, Expansions-, Lokalisierungs- und Korrekturmethode wird einerseits anhand eines einfachen **Kettenschwingers** und andererseits anhand einer **Fachwerkstruktur** durchgeführt. Um die prinzipiellen Möglichkeiten und Grenzen der Methoden zu finden, wird das *Experiment numerisch simuliert*. Das bedeutet, dass die Messfehler ausgeklammert werden. Die Verwendung der ersten elastischen Schwingungsform ist am erfolgversprechendsten, da die Approximationsfehler aus der Umwandlung der komplexen Moden in reelle und aus der Expansion für die erste Mode am kleinsten sind.

Als **Fazit** dieser Arbeit kann formuliert werden, dass es zwar Kombinationen von Fehlerarten und Modellverbesserungsmethoden gibt, in denen die FE-Modellierungsfehler anhand der modalen Parameter gefunden und korrigiert werden können, dass aber die evaluierten *Methoden im Modalraum* keine genügend sicheren, d.h. eindeutigen Angaben zur Lokalisierung von fehlerbehafteten FE-Freiheitsgraden liefern, um in jedem Fall erfolgreich zu sein. Dabei stellt die Expansion die eigentliche Achillesferse des gesamten FE-Modellverbesserungsprozesses dar.

ABSTRACT

In the present contribution methods are evaluated which localize error affected degrees of freedom and correct inadequately modeled parts of finite element models of mechanical structures by using the modal parameters of experimental and analytical modal analysis and result in an improved FE model. The models are supposed to be *linear* and of *constant topology*.

First of all, a systematic compilation of the potential error sources and their possible elimination is made for the FE analysis as well as for the modal testing. The process of improving the FE model is then split into four steps. Several methods are evaluated for these steps.

In a first step, the correlation of the geometrical as well as of the modal MA- and FE models has to be found. For this task, efficient and practical tools exist. Only the transformation of the complex eigenvectors to real eigenvectors introduces approximation errors into the model updating process. This problem is solved satisfactorily by decoupling the stiffness and damping parts in the modal state space.

In a second step, the incompatibility of the models concerning the different numbers of degrees of freedom is overcome by expansion of the test model to the dimension of the FE model. The evaluation of the expansion methods shows that the dynamic expansion methods produce the best results, meaning the smallest deviation from the 'exact' eigenvectors. This holds both for local and global errors and for big errors as well as for small ones.

In a third step, several methods for the localization of the modeling errors are examined. It can be proved, that methods exist which need only one test mode for specifying the defective degrees of freedom. However, the test model must have the same (matrix) dimension as the FE model. Since this condition is never fulfilled in reality, the localization methods are also evaluated by including the approximations from the expansion. Thereby it becomes apparent that these approximation errors - even though they are small - prevent

a unmistakable error localization in most cases. Nevertheless, a constellation exists for which a definite error localization is possible; namely in case the measurement points coincide with the incorrectly modeled parts of the FE model and in case certain combinations of expansion and localization methods are used.

In a fourth step, the **correction** of the parameters, identified as faulty in the previous localization phase, is performed. The modal test and FE model shall correspond as well as possible with each other. The examined iterative remodeling method, based on a Bayesian parameter estimation, solves this task. However, the system of equations set up for that purpose may be ill conditioned and cause divergence.

The evaluation of the correlation, expansion, localization and correction methods is conducted on a simple **mass-spring system** on the one hand and on a **truss structure** on the other. In order to explore the principal possibilities and limits of the methods, the *experiment is simulated numerically*. This means that the measurement errors are left out of consideration. The use of the first elastic mode shape is most promising, because the approximation errors of the transformation from complex to real modes and of the expansion are the smallest for the first mode.

As a **summary** of this contribution it can be stated that on the one hand there are combinations of types of errors and updating methods which allow to localize and correct the finite element modeling errors by using modal parameters, but on the other hand the evaluated *methods in modal space* do not constitute a secure and definite tool for the localization of error affected degrees of freedom which would be successful in any case. Thereby, the expansion is the true Achilles heel of the whole model updating process.