



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Estimación de parámetros modales de estructuras civiles a partir de la función de respuesta en frecuencia

M. Cacho-Perez^{*1}, N. Frechilla² y A. Lorenzana³

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Paseo del Cauce 59, 47011, Valladolid, Spain

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 10 de septiembre de 2015

Aceptado el 19 de febrero de 2016

On-line el xxx

Palabras clave:

Pasarela peatonal

Sistema dinámico

Parámetros modales

Keywords:

Footbridge

Dynamic system

Modal parameters

R E S U M E N

Este trabajo se centra en estimar los parámetros modales del sistema dinámico que constituye la pasarela peatonal del Museo de la Ciencia de la ciudad de Valladolid (Spain). El trabajo consiste no sólo en calcular frecuencias propias o naturales y factores de amortiguamiento asociados a cada uno de los modos estimados, como proporcionan muchos programas comerciales a partir de los registros de aceleraciones de ensayos OMA (Operational Modal Analysis) y/o EMA (Experimental Modal Analysis), sino que el objetivo de este artículo es calcular las masas generalizadas correspondientes a cada uno de los modos estimados de la estructura. Para ello, en primer lugar se obtiene una representación del sistema dinámico en el espacio de estados mediante la técnica SSI (Stochastic Subspace Identification), y en segundo lugar se escalan los modos de vibración a partir de la estimación de los residuos de la descomposición en fracciones parciales de la función de respuesta en frecuencia (FRF) de las mediciones. Con este método se consiguen obtener buenas precisiones en los resultados, siempre que se consigan excitar los modos de vibración de los que queremos estimar los parámetros, lo que nos permite simular la respuesta dinámica de la estructura sin tener que recurrir a otros procedimientos como la actualización de un modelo de elementos finitos de la estructura en estudio.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Estimation of modal parameters of civil structures from frequency response function

A B S T R A C T

This paper focuses on estimating the modal parameters of the dynamic system that constitutes the pedestrian footbridge of the Science Museum of the city of Valladolid (Spain). The work consists not only of calculating natural frequencies and damping factors associated to each of the estimated modes, as many commercial software provide from acceleration measurements of tests OMA (Operational Modal Analysis) and/or EMA (Experimental modal Analysis), but the aim of this paper is to calculate the generalized masses corresponding to each of the estimated modes of the structure. For this purpose, firstly a representation of the dynamic system is obtained in the state space by SSI technique (Stochastic Subspace Identification), and secondly, vibration modes are scaled from the estimation of the residues of the

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: cacho@eii.uva.es (M. Cacho-Perez), noeliafrechilla@yahoo.es (N. Frechilla), ali@eii.uva.es (A. Lorenzana).

¹ Doctor Ingeniero Industrial, Profesor Ayudante Doctor.

² Investigador, Estudiante de doctorado en Ingeniería Industrial.

³ Doctor Ingeniero Industrial, Profesor Titular.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.02.001>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

decomposition in partial fractions of the frequency response function (FRF) measurements. This method gets accurate estimations in the results whose vibration modes are excited, allowing the simulation of the dynamic response of the structure without the need for updating a finite element model of the structure under study.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Hoy en día existen estructuras típicas de proyectos e instalaciones de tipo industrial y de ingeniería civil, tales como chimeneas industriales, torres, edificios altos, puentes, pasarelas o viaductos, que han sido diseñadas y ejecutadas bajo criterios distintos a los actuales. Por otro lado, los nuevos materiales son cada vez más resistentes y permiten el diseño y construcción de estructuras cada vez más esbeltas, complejas y ambiciosas, en las cuales los movimientos pueden ser apreciables. Estos aspectos, junto con las actuales demandas sociales relativas a la percepción de seguridad y confort, en algunos casos recogidas en las normativas y guías, suscitan la necesidad de desarrollar una metodología adecuada para el análisis y diseño asistido por ordenador de estructuras esbeltas, integrando técnicas experimentales que permitan una precisa identificación de los parámetros más relevantes que definen el comportamiento estructural (estático y dinámico).

En el caso concreto de las pasarelas peatonales, generalmente éstas son propensas a ser excitadas por las personas que las ocupan, apareciendo movimientos apreciables que incluso pueden llegar a ser molestos o, en algunos casos, inadecuados o peligrosos desde el punto de vista de la resistencia estructural [1].

Por otro lado, respecto a la metodología de cálculo dinámico, la técnica de análisis modal de estructuras consiste en la recolección de datos, la identificación del sistema y, por último, la estimación de los parámetros modales. La etapa de identificación del sistema juega un papel crucial en los parámetros modales que se derivan, así como en el número de parámetros que se pueden determinar [2]. Los métodos de identificación clásicos se basan en aplicar una excitación al sistema y a continuación registrar la correspondiente respuesta (Experimental Modal Analysis/EMA) [3]. Si los ensayos se realizan en condiciones de uso, en los que la magnitud de las fuerzas excitadoras es desconocida, el análisis se denomina Operational Modal Analysis/OMA y si los ensayos se llevan a cabo en condiciones de operación aplicando una o varias fuerzas artificiales se denomina Operational Modal Analysis with eXogenous inputs/OMAX.

En el caso de las estructuras civiles y mecánicas se usa en muchas ocasiones el OMA, ya que presentan ventajas económicas y operacionales, sin embargo, debido a que las fuerzas son desconocidas los modos de vibración no pueden ser normalizados y el modelo resulta incompleto lo que no permite simular el sistema. Para solucionar este problema, se han desarrollado algunos métodos de escalado de los modos de vibración que se basan en la actualización de un modelo de elementos finitos de la estructura empleando los parámetros modales estimados en el OMA [4,5]. También se han desarrollado soluciones basadas en la suposición de que la matriz de masa de la estructura (o su inversa) es conocida [6] o modificando el comportamiento dinámico de la estructura variando la masa o la rigidez y realizando un análisis modal operacional tanto en la estructura original como en la modificada [7–13]. Estos métodos requieren un procedimiento experimental más extenso al emplear los parámetros modales de la estructura original y también de la modificada.

Otros métodos de escalado consisten en añadir sistemas de vibración secundarios, midiendo y procesando la respuesta conjunta [14].

La identificación de los parámetros en una formulación diferencial de primer orden también ha recibido considerable atención, pero como es bien sabido, si se parte de un espacio de estados modelo, y se trata de identificar los parámetros del modelo de segundo orden, cuestiones como la no unicidad de la solución complica la resolución del problema inverso [15–21]. Sin embargo se han desarrollado varias metodologías que resuelven el problema imponiendo diferentes restricciones en el número de sensores y actuadores empleados [22–26].

En el presente artículo se retoma el empleo de los resultados del EMA para obtener todos los parámetros modales necesarios para la simulación de una estructura civil, escalando los modos de vibración a partir de la estimación de los residuos de la descomposición en fracciones parciales de la función de respuesta en frecuencia (FRF) de las mediciones. Asimismo se aplica, una vez validada la metodología a través de dos casos teóricos, en una estructura actualmente en uso. La información de partida se obtiene aplicando uno de los métodos más utilizados en la actualidad, el SSI (Stochastic Subspace Identification), y se escoge el escalado de forma que el mayor coeficiente modal sea igual a 1 teniendo el resultado el significado físico de la masa modal (cantidad de masa que participa en cada modo de vibración) [27].

Por último, indicar que el trabajo se ha organizado de la manera siguiente: en primer lugar, tras esta introducción, se presenta la metodología empleada. A continuación, se diserta sobre los resultados obtenidos y en el último apartado se presentan las principales conclusiones que se deducen de este trabajo.

2. Metodología

2.1. Función de transferencia

La función de transferencia de un sistema amortiguado de multiples grados de libertad puede ser formulada a partir de las ecuaciones del movimiento en términos de las matrices de masa, rigidez y amortiguamiento [28]:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (1)$$

donde $\mathbf{u}(t)$ indica el vector de desplazamientos nodales, con $()$ y $(\dot{\quad})$ que representan la primera y segunda derivada respecto al tiempo, el vector $\mathbf{f}(t)$ contiene las excitaciones externas que solicitan el sistema, las magnitudes \mathbf{M} , \mathbf{C} y \mathbf{K} son las matrices simétricas definidas positivas de masa, amortiguamiento y rigidez para un sistema de N grados de libertad.

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación (1) y asumiendo condiciones iniciales nulas, resulta:

$$(s^2\mathbf{M} + s\mathbf{C} + \mathbf{K}) \mathbf{U}(s) = \mathbf{F}(s) \quad (2)$$

donde $\mathbf{U}(s)$ y $\mathbf{F}(s)$ son la transformada de Laplace de la respuesta en desplazamientos y de la fuerza, respectivamente. Se define la matriz dinámica del sistema, como:

$$\mathbf{B}(s) = (s^2\mathbf{M} + s\mathbf{C} + \mathbf{K}) \quad (3)$$

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050685>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050685>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)