

Model Updating unter Verwendung von globalen Response Surfaces

Simon Stahl, Otto von Estorff

Technische Universität Hamburg-Harburg, 21073 Hamburg, Deutschland, Email: simon.stahl@tu-harburg.de

Einleitung

Für die schwingungstechnische Untersuchung von Strukturen werden sowohl experimentelle Versuche als auch Simulationsrechnungen durchgeführt. Parameterunsicherheiten in der Simulation führen dabei zu Abweichungen zwischen dem dynamischen Verhalten der realen Struktur und des Simulationsmodells. Bei zu großen Abweichungen ist das Model Updating erforderlich, welches mit einer Anpassung von Designvariablen verbunden ist. Mithilfe der Response-Surface-Methode besteht die Möglichkeit, den Wirkzusammenhang zwischen Modellparametern und Zielgrößen mit einer zuvor definierten Anzahl an Einzelrechnungen zu approximieren. Das Updating erfolgt dann anhand der erzeugten Approximationsfunktion, deren Auswertung mit einem geringen Zeitaufwand verbunden ist. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Model Updating für ein einfaches Flugzeugpaneel unter Verwendung der Response-Surface-Methode vorgestellt. Da keine Messdaten vorliegen, werden diese künstlich anhand des Simulationsmodells erzeugt.

Korrelation und Zielgrößen

Die lineare Abhängigkeit zweier Moden der gleichen Dimension [1] kennzeichnet das Modal Assurance Criterion (*MAC*). Im betrachteten Fall wird eine beliebige Mode φ_{meas} eines Referenzmodells mit einer beliebigen Mode φ_{sim} eines Simulationsmodells verglichen, womit sich der *MAC*-Wert zu

$$MAC = \frac{(\varphi_{meas}^T \varphi_{sim})^2}{(\varphi_{meas}^T \varphi_{meas})(\varphi_{sim}^T \varphi_{sim})} \quad (1)$$

ergibt. Ein *MAC*-Wert mit $MAC = 1$ bedeutet dabei, dass eine ideale Korrelation mit kollinearen Moden vorliegt. Ein *MAC*-Wert mit $MAC \approx 0$ steht hingegen für eine sehr niedrige Korrelation.

Die lineare Abhängigkeit zweier Frequenzantworten [1] kennzeichnet das Frequency Response Criterion (*FRAC*). Für eine definierte Anregung ergibt sich der *FRAC*-Wert für eine beliebige gemessene Frequenzantwort H_{meas} und eine beliebige simulierte Frequenzantwort H_{sim} zu

$$FRAC = \frac{(H_{meas}^T H_{sim})^2}{(H_{meas}^T H_{meas})(H_{sim}^T H_{sim})}. \quad (2)$$

Analog zum *MAC* weist ein *FRAC*-Wert von $FRAC = 1$ auf eine ideale, ein *FRAC*-Wert von $FRAC \approx 0$ auf eine sehr schlechte Korrelation hin.

Anhand der vorgestellten Korrelationsgrößen werden im Weiteren Zielgrößen Z definiert. Diese sind so formuliert, dass sich bei einer perfekten Korrelation zwischen Mess- und Simulationsmodell der Wert $Z = 0$

ergibt. Bei Betrachtung der modalen Zielgrößen wird zu jeder der n gemessenen Moden mit $i = 1 \dots n$ die jeweils beste korrelierende simulierte Mode ausgewählt. Die Zielfunktionen

$$Z_1 = \sum_{i=1}^n (1 - MAC_i) \quad (3)$$

und

$$Z_2 = \sum_{i=1}^n \frac{|f_{meas,i} - f_{sim,i}|}{f_{meas,i}} \quad (4)$$

beschreiben dann die Gesamtkorrelation aller betrachteten Modenpaare bezüglich *MAC*-Wert und Differenz der zugehörigen Eigenfrequenzen. Bei Verwendung des *FRAC*s zur Definition von Zielgrößen werden die m Frequenzantworten mit $j = 1 \dots m$ bei jeweils gleicher Anregungsfrequenz verwendet. Dadurch ergibt sich die Zielfunktion Z_3 zu

$$Z_3 = \sum_{j=1}^m (1 - FRAC_j). \quad (5)$$

Des Weiteren erfolgt die Anpassung der Masse m_{sim} des Simulationsmodells an die Masse m_{meas} des Referenzmodells mithilfe einer Massenrestriktion der Form

$$Z_4 = \frac{|m_{meas} - m_{sim}|}{m_{meas}}. \quad (6)$$

Response Surface und Sampling

Die Response-Surface-Technik gehört zu den Methoden des Design of Experiments (*DoE*). Dabei wird die Zielfunktion an einer definierten Anzahl an Stützstellen ausgewertet. Der Wirkzusammenhang zwischen den Eingangsvariablen und Zielgrößen erfolgt dann anhand von Approximationsfunktionen [2]. Im betrachteten Fall wird das Latin Hypercube Sampling zur Erstellung der Stützstellen und polynomiale Ansätze als Approximationsfunktionen verwendet. Für den einfachen Fall eines Ansatzes 1. Ordnung bei q Designvariablen $[x_1, \dots, x_q]^T$ ergibt sich

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^q \beta_k x_k + \epsilon. \quad (7)$$

Die Koeffizienten $[\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q]^T$ des Polynoms werden über eine lineare Regression so gewählt, dass die Summe der Fehlerquadrate ϵ möglichst gering ausfällt [4].

Simulationsmodell

Das betrachtete Modell ist das in Abbildung 1 dargestellte Seitenwandpaneel einer A340-Rumpfstruktur. Als Designvariablen werden die Materialdicken t_1, t_2, t_3 und t_4

verwendet. Die Gewinnung der Messdaten erfolgt anhand einer Konfiguration mit $t_1 = 1,8 \text{ mm}$, $t_2 = 2,5 \text{ mm}$, $t_3 = 1,8 \text{ mm}$ und $t_4 = 1,6 \text{ mm}$. Für die Berech-

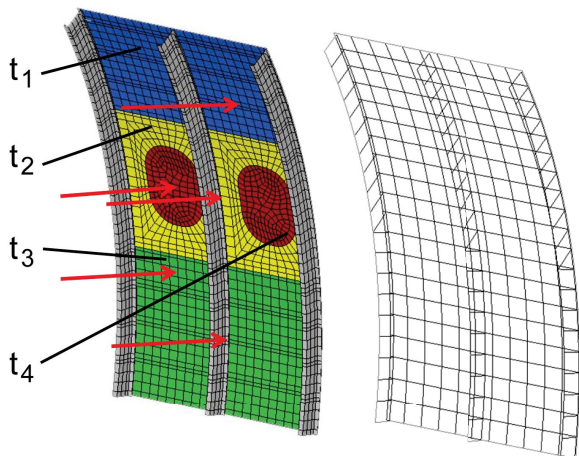


Abbildung 1: Modell mit Anregungen und Messgitter

nung der *MAC*- und *FRAC*-Werte werden dabei nur die Knotendaten des Gitters auf der rechten Seite in Abbildung 1 benutzt. Dieser künstliche Informationsverlust soll die geringere Anzahl an Knoten des Messgitters im Vergleich zum Finite-Elemente-Gitter bei einer realen Messkampagne nachbilden. Für die Berechnung der Frequenzantworten werden insgesamt 5 unterschiedliche Anregungen verwendet, die den roten Pfeilen in der Abbildung entsprechen. Die Bildung der insgesamt 250 Stützstellen für die *DoE* erfolgt in Intervallen von $t_1 = 0,8 \dots 2,8 \text{ mm}$, $t_2 = 1,5 \dots 2,5 \text{ mm}$, $t_3 = 0,8 \dots 1,8 \text{ mm}$ und $t_4 = 0,6 \dots 1,6 \text{ mm}$. Für die Berechnung der Zielfunktionen Z_1 und Z_2 werden die Moden im Frequenzbereich $f = 0 \dots 200 \text{ Hz}$ verwendet, die Zielfunktion Z_3 wird für alle 5 Anregungen bei 100 äquidistanten Frequenzschritten im Intervall $f = 2 \dots 200$ berechnet.

Ergebnisse

Das Model Updating erfolgt anhand von polynomialen Ansätzen 6. Ordnung mithilfe evolutionärer Algorithmen [3]. Da es sich hierbei um ein stochastisches Verfahren handelt, werden insgesamt 5 einzelne Optimierungsrechnungen durchgeführt, um aussagekräftigere Resultate zu erzielen. Zur anschaulicheren Darstellung der Ergebnisse sind die Designparameter auf das Einheitsintervall normiert. Die Daten des Referenzmodells entsprechen der Konfiguration $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 0,5$. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Model Updatings bei Verwendung der Summe aus Z_1 , Z_2 und Z_4 als Zielfunktion. Darin wird ersichtlich, dass alle 5 Einzelrechnungen eine gute Anpassung an die Parameter des Referenzmodells liefern. Lediglich die Ergebnisse für die Parameter t_1 und t_2 weisen leichte Abweichungen auf. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse des Model Updatings bei Verwendung der Summe aus Z_3 und Z_4 als Zielfunktion. Das Updating liefert dabei ebenfalls zufriedenstellende Ergebnisse. Einzig der Parameter t_2 weist eine etwas größere Streuung von bis zu 6 % auf.

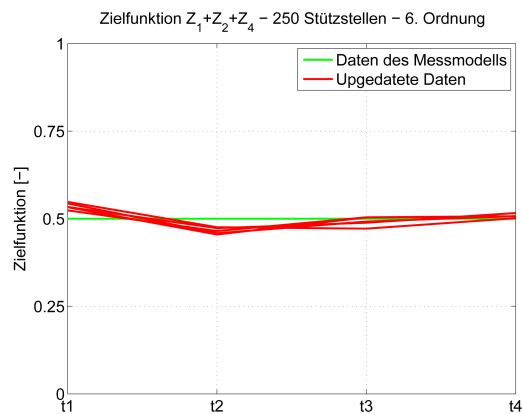


Abbildung 2: Updating mit *MAC*-Zielgrößen

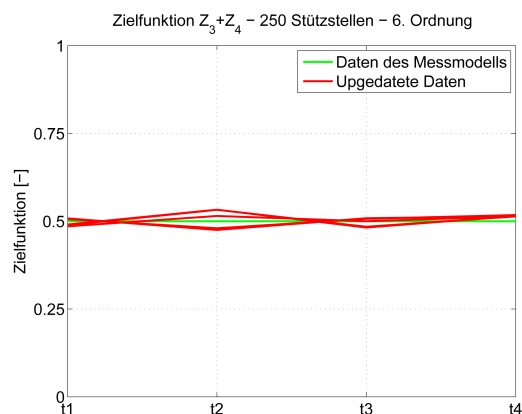


Abbildung 3: Updating mit *FRAC*-Zielgrößen

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde das Model Updating mithilfe von Response Surfaces an einem A340-Rumpfpanels untersucht. Dabei wurden modale Korrelationsgrößen in Form des *MAC*-Wertes und Korrelationsgrößen aus Frequenzantworten in Form des *FRAC*-Wertes zur Formulierung von Zielgrößen verwendet. Das Updating erfolgte mithilfe der evolutionären Algorithmen unter Verwendung von polynomialen Approximationen der Zielfunktionen. Dabei konnten gute Ergebnisse mit nur geringen Abweichungen zwischen den Modellen erzielt werden.

Literatur

- [1] Allemang, R. J.: The Modal Assurance Criterion - Twenty Years of Use and Abuse. *Sound and Vibration Magazine* **90** (2003), 2203-2503
- [2] Gurses, K.; Kuran B.; Cencoglu, C.: Identification of Material Properties of Composite Plates Utilizing Model Updating and Response Surface Techniques. *Linking of Models and Experiments, Volume 2*, 2011
- [3] Schumacher, A.: Optimierung mechanischer Strukturen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [4] Stewart, P.; Fleming P.J.; MacKenzie, S.A.: On the Response Surface Methodology and Designed Experiments for Computationally Intensive Distributed Aerospace Simulations, *Proceedings of the Simulation Conference 2002*, Farnborough, United Kingdom, 2002