
3D Schwingungsanalyse mit Hilfe innovativer Bildkorrelation

Markus J. Hochrainer, Florian A. Schauer

Fachhochschule Wiener Neustadt, Johannes Gutenberg-Straße 3, A-2700 Wiener Neustadt, AUSTRIA

KURZFASSUNG/ABSTRACT:

Bereits seit einigen Jahren wird ein verstärkter Einsatz von technisch hochwertigen Bildverarbeitungssystemen in der Messdatenerfassung festgestellt. Diese Arbeit zeigt dass durch ein innovatives Beleuchtungskonzept eine hochdynamische und präzise Auswertung von räumlichen Schwingungen mit Standard-Webcams möglich wird, wenn die tatsächliche Frequenz einer periodischen Schwingungen mit Hilfe des Stroboskopeffektes an die geringe Erfassungsrate der verwendeten Kameras angepasst wird.

1 EINLEITUNG

Die Erfassung und Analyse von Strukturschwingungen erfolgt traditionell durch experimentelle Modalanalyse mit Hilfe von Beschleunigungssensoren. Oft kommen auch Laser-Doppler-Vibrometer (LDV) zum Einsatz, die eine hohe Frequenz- und Amplitudendynamik besitzen und die räumliche Deformation von definierten Messpunkten erfassen. Wird die Struktur in einem definierten Raster gescannt, kann daraus schrittweise die gesamte Oberflächendeformation ermittelt werden. Gut etabliert sind auch digitale Bildkorrelationsverfahren (digital image correlation - DIC), welche für räumliche Analysen mindestens zwei kalibrierte Kameras nutzen und neben der dynamischen Vermessung von Deformationen auch eine dreidimensionale Rekonstruktion des Messobjektes erlauben. Dabei werden für die optische Vermessung hochdynamischer Szenen derzeit Hochgeschwindigkeitskameras mit entsprechender Auflösung benötigt. Es wird gezeigt, dass hochfrequente periodische Schwingungen (Betriebsschwingungsanalyse) bei entsprechender Beleuchtung durch Standardkameras oder Webcams vermessen werden können.

2 THEORIE

Beim vorgestellten Messsystem wird das Messobjekt mit Hilfe von Stroboskoplicht homogen beleuchtet, wodurch eine hochfrequente Schwingung durch gezielte Verletzung des Abtasttheorems von Shannon auf eine Schwingung niedriger Frequenz abgebildet, und an die Erfassungsrate der verwendeten Kameras angepasst wird. Nachdem die Amplituden der scheinbar verlangsamten Bewegung der tatsächlichen Deformation entsprechen, ist eine fehlerfreie Messung der Oberflächendeformation durch Stereo-Kameras mittels klassischer DIC möglich. Dazu wird ein geeignetes Muster auf die Oberfläche aufgebracht, welches eine eindeutige Zuordnung der Oberflächenpunkte beider Kameras erlaubt, wobei die korrespondierenden Bildausschnitte durch eine allgemeine Abbildung verknüpft sind. Bei bekannter Transformationsvorschrift können Bildausschnitte normiert und korreliert werden. Die für die DIC erforderlichen Transformationsparameter führen mathematisch zu einem nichtlinearen Optimierungsproblem, welches bei geeigneten Startwerten mit Hilfe eines Gauß-Newton Verfahrens in wenigen Iterationsschritten numerisch gelöst wird. Die korrespondierenden Bildausschnitte können für das gesamte Stereo-Bild in einem frei definierbaren, beliebig feinen Raster ausgewertet werden. Wird auf eine performante Implementierung geachtet, ist für handelsübliche Kameras eine Echtzeitauswertung möglich. Neben der Berechnung der reinen Deformation ermöglicht die Bildkorrelation auch die Berechnung von Oberflächenverzerrungen, sodass ohne zusätzlichen Berechnungsaufwand eine dynamische Spannungsanalyse möglich ist.

3 MESSAUFBAU UND ANWENDUNG

Der eingesetzte Messaufbau besteht im Wesentlichen aus zwei Standard-Webcams (Logitech HD Webcam C270). Die exakte Ermittlung der relativen Position erfolgt durch eine Stereo-Vision-Kalibrierung die auch Linsenfehler ermittelt bzw. korrigiert.

Die eingesetzten USB 2.0 Webcams besitzen eine Auflösung von 1280x720 Bildpunkten bei einer Abtastrate von bis zu 30Hz. Die USB-Schnittstelle erlaubt keine synchrone Hardware-Triggerung, sodass die Stereo-Aufnahmen nicht gleichzeitig erfolgen, und eine genaue Deformationsmessung nur für statische oder sehr langsame Auslenkungen möglich ist. Daher wird das Stroboskoplicht so konfiguriert, dass sich eine scheinbare Periodendauer von einigen Sekunden einstellt. Die Stroboskopbeleuchtung wird digital angesteuert und besteht aus vier Beleuchtungsschienen mit insgesamt 32 Hochleistungs-LEDs. Für gute Messergebnisse muss die Lichtintensität des Stroboskops gegenüber dem Umgebungslicht dominant sein, weshalb eine Abdunkelung empfohlen wird. Als Schwingungsanregung können neben betriebsinduzierten Schwingungen auch künstliche Anregungen (Shaker, Unwucht etc.) dienen.

Um die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Systems zu zeigen, wird die dynamische Deformation einer harmonisch angeregten, kreisförmigen Polykarbonat-Platte analysiert, auf deren Oberfläche ein Zufallsmuster (speckle pattern) aufgebracht ist. Für optimale Ergebnisse kann das Korrelationsmuster an die Größe des Messaufbaus und die Kameraauflösung angepasst werden, wobei sich das tatsächlich verwendete Muster als wenig kritisch herausgestellt hat. Es beeinflusst aber die Abmessungen des zur Korrelation erforderlichen Bildausschnittes und damit die mögliche Dichte von Messpunkten und die Wellenlänge der erfassbaren Deformationen. Um das Sensorrauschen der Kamera zu reduzieren wurde eine längere Belichtungszeit gewählt welche wiederum eine langsame scheinbare Schwingung erforderte. Aufgrund dieser Einschränkungen betrug die Bildrate 2-5Hz, sodass eine Echtzeitverarbeitung und -visualisierung möglich war. Die Ergebnisse einer Deformationsmessung bei 112Hz Anregung sind in Abb.1 dargestellt, wobei die asymmetrische Deformation auf eine nicht zentrische Lagerung zurückzuführen ist. Darüber hinaus ist in der Animation eine deutliche Phasenverschiebung sichtbar, sodass offensichtlich eine komplexe Schwingungsform vorliegt. Vergleichsmessungen mit einem LDV (Polytec OFV 505) haben gezeigt, dass eine Genauigkeit von etwa 10 μ m erreicht wurde. Wird eine höhere Genauigkeit gefordert, ist der Einsatz von professionellen Kameras mit hoher Auflösung und entsprechendem Objektiv unumgänglich, wodurch auch Messungen im niedrigen nm-Bereich möglich werden.

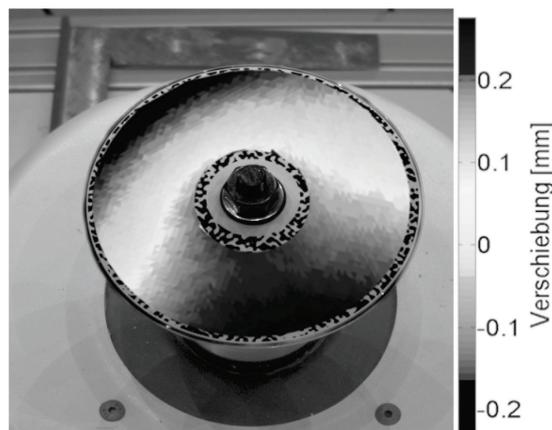


Abbildung 1. Deformationsmessung bei 112Hz, Anregung mit elektrodynamischem Shaker.

LITERATURVERWEISE

- [1] M. A. Sutton, J.-J. Orteu, H. W. Schreier, *Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements*, Springer Science, 2009.