

Korrelationsbasierte optische Messtechnik mittels zufälliger Punktemuster: PROPAC und REPAC

Frederik Blumrich

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

mailto:frederik.blumrich@dlr.de

Im Folgenden sollen zwei flächenhafte optische Messverfahren erläutert werden, die zur Lösung des Korrespondenzproblems die Kreuzkorrelation verwenden.

1 Einleitung

Bisher werden zur flächenhaften optischen Erfassung von 3D-Daten meist Streifenprojektionssysteme eingesetzt. Dabei wird von der Projektionseinheit eine bekannte Mustersequenz auf das Messobjekt aufgebracht, die von einer Kamera unter einem Triangulationswinkel aufgenommen wird. Bei geschickter Wahl der projizierten Mustersequenz lassen sich aus den aufgenommenen Bildern die Pixel-Korrespondenzen zwischen Projektor und Kamera dekodieren. Sind diese bekannt, lassen sich bei bekannter Orientierung von Kamera und Projektor sowie einer Maßstabsinformation 3D-Koordinaten mittels Triangulation berechnen. Allerdings darf sich das Messobjekt während der Projektion und Bildaufnahme der gesamten Mustersequenz weder bewegen noch verformen.

Die grundlegende Idee des hier vorgestellten Ansatzes besteht darin, die lokale Kreuzkorrelation zur Lösung des Korrespondenzproblems zu verwenden. Dazu wird ein zufälliges, eindeutig korrelierbares Punktemuster projiziert und das Objekt sowohl im Referenzzustand als auch im deformierten Zustand aufgenommen. Als Referenz kann entweder die Soll-Form verwendet werden (Deformationsmessung, direkter Soll-Ist-Vergleich) oder es wird eine Ebene verwendet, um die lokale Objektform als Differenz zu dieser Ebene zu erhalten.

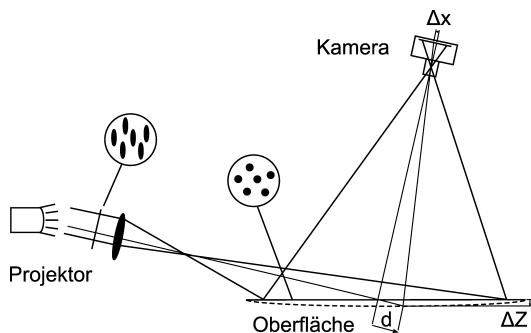


Abbildung 1 Prinzipielle PROPAC Messanordnung.

2 PROPAC

Die Projected Pattern Correlation (PROPAC) stellt die Realisierung der hier vorgestellten korrelations-

basierten optischen Messtechnik auf diffusen Oberflächen dar. Das Messprinzip lässt sich einfach anhand von Abbildung 1 erklären: Ein ortsfester Apparat projiziert unter einem flachen Winkel ein eindeutig korrelierbares Muster auf die zu vermessende Oberfläche, das von einer ebenfalls ortsfesten Kamera aufgenommen wird [1, 2]. Vergleicht man diese Aufnahme jeweils lokal mit der Aufnahme des in der Referenzposition unter den gleichen geometrischen Bedingungen aufgenommenen Musters ergibt Kreuzkorrelation für den Mittelpunkt $\vec{x}$ eines jeden Auswertefensters eine Verschiebung $\vec{V}$ des projizierten raumfesten Musters auf der Oberfläche (siehe Abbildung 2).

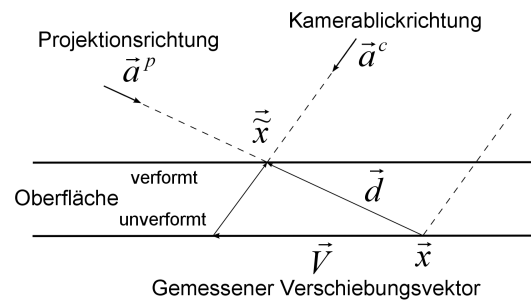


Abbildung 2 PROPAC-Transformation im Detail.

Sind nun zusätzlich die lokalen Projektionsrichtungen $\vec{a}^p$ und die Kamerablickrichtungen $\vec{a}^c$ aus einer vorherigen Kalibrierung bekannt, lassen sich die deformierten Oberflächenpunkte $\vec{x}$ wie folgt berechnen:

$$\vec{x} = \vec{x} + \vec{d} = \vec{x} - r \vec{a}^p. \quad (1)$$

Den gesuchten Skalar r erhält man durch die Kleinste-Quadrate-Lösung der Vektorgleichung

$$r \vec{a}^p - s \vec{a}^c + \vec{V} = \vec{0}. \quad (2)$$

Zur Berechnung der Verschiebung $\vec{V}$ kann auf die für die Particle Image Velocimetry (PIV) Messtechnik [3] seit Jahren hoch entwickelten und robusten Kreuzkorrelationsalgorithmen zurückgegriffen werden. Dabei hat sich ein stochastisch verteiltes Punktemuster, das hinsichtlich der Dichte und des Punktedurchmessers der jeweiligen Messaufgabe optimal angepasst ist, als sehr geeignet erwiesen. Aufgrund der Messanordnung ist sowohl für das Projek-

tionssystem als auch für das Aufnahmesystem die Scheimpflug-Bedingung zu erfüllen.

Durch die Nutzung von Laserlicht können Belichtungszeiten von wenigen Mikrosekunden für die Bildaufnahme realisiert werden, was eine Echtzeiterfassung von Oberflächen während des Fließbetriebs erlaubt. Gegenüber herkömmlichen flächenhaften Messverfahren ergibt sich somit ein deutlicher Geschwindigkeitsvorteil, da für PROPAC nur ein Messbild benötigt wird. Dadurch lässt sich diese Deformationsmesstechnik auch zur Vibrations- oder Oberflächengeschwindigkeitsmesstechnik erweitern [4].

3 REPAC

Eine Ausweitung dieser Messtechnik auf spiegelnden, also gerichtet streuenden Oberflächen ist durch die Reflected Pattern Correlation (REPAC) Technik [1, 5] gegeben. Über die spiegelnde Oberfläche wird das Muster indirekt aufgenommen. Da in diesem Fall eine Verschiebung des Musters sowohl durch eine Höhen- als auch durch eine Neigungsänderung hervorgerufen werden kann (siehe Abbildung 3), sind zusätzliche Messungen (z.B. durch eine zweite Kamera) notwendig.

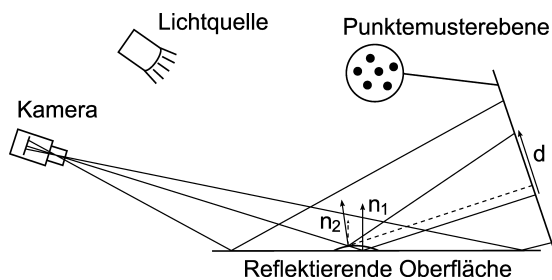


Abbildung 3 Prinzipielle REPAC Messanordnung.

4 Anwendungen

Die gegenüber herkömmlichen Verfahren deutlich geringere Messzeit und damit die Verbesserung der zeitlichen Auflösung geht allerdings aufgrund der mehrere Pixel breiten Auswertefenster mit einer Verringerung der räumlichen Auflösung daher. In der Qualitätskontrolle von Blechbauteilen lautet die Messaufgabe oft, diese auf Beulen oder Defekte mit einer Ausdehnung im Millimeterbereich und einer Tiefe im Mikrometerbereich zu untersuchen. Ein solches Messergebnis ist in Abbildung 4 zu sehen. Die räumliche Ausdehnung der Beule betrug ca. 2 cm x 2 cm und sie war ca. 140 µm tief. Für die Messung wurde ein herkömmlicher Videobeamer mit 800 x 600 Bildpunkten sowie eine 1,4 Megapixel CCD Kamera mit 12 Bit und aktiver Kühlung verwendet. Das aufgenommene Bildpaar des Musters wurde mittels einer am DLR entwickelten Kreuzkorrelationssoftware ausgewertet.

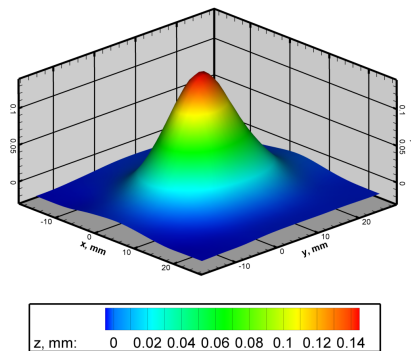


Abbildung 4 Messergebnis: überhöht dargestellte Beule.

In diesem Fall konnte eine räumliche Auflösung auf der Oberfläche von ca. 0,5 mm sowie eine Höhenmessgenauigkeit von besser als 1 µm erreicht werden. Weitere mögliche Anwendungen sind z.B. Frequenzanalyse von schwingenden Oberflächen, lokale Geschwindigkeitserfassung von sich bewegenden oder verbiegenden Objekten, Erfassung von Form und lokaler Neigung von Linsen, Brillengläsern oder HUD Displays oder die gleichzeitige Messung der Ober- und Unterseite (und damit der Dicke) von Glasscheiben durch zusätzliche parallele Auswertung des zweitgrößten Korrelationspeaks.

5 Fazit

Das dargestellte Messprinzip auf Basis der lokalen Kreuzkorrelation von zufälligen, eindeutig korrelierbaren Punktemustern erlaubt die direkte Lösung des Korrespondenzproblems aus nur einem Messbild, was zu einer stark verkürzten Messdauer führt. Aktuell werden Auswerteverfahren untersucht, die es erlauben sollen, die räumliche Auflösung noch deutlich zu verbessern.

Literatur

- [1] F. Blumrich, A. Schröder, R. Konrath, und F. Klinge, "Presentation of two optical correlation-based measurement techniques for surface deformation: PROPAC and REPAC," in *SENSOR Conference 2007, Proceedings Volume II*, S. 117–123 (Nürnberg, Germany, 2007).
- [2] F. Klinge, A. Schröder, M. Raffel, und B. Binder, "Verfahren zum Vermessen einer Oberfläche," Patent, DE 000010341959 (2003).
- [3] M. Raffel, C. Willert, und J. Kompenhans, *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide* (Springer-Verlag, Berlin, 1998).
- [4] R. Konrath, F. Klinge, A. Schröder, J. Kompenhans, und U. Füllekrug, "The projected pattern correlation technique for vibration measurements," in *6th International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques* (Ancona, Italy, 2004).
- [5] R. Konrath, F. Klinge, A. Schröder, und E. Goldhahn, "Verfahren und Vorrichtung zum Erfassen einer Kontur einer reflektierenden Oberfläche," Patent, DE 102006006876 (2006).