

Inverse Streifenprojektion kombiniert mit Wavelet-Transformation als optische Inline-Inspektionslösung in der Umformtechnik

Michael Strohmeier*, Burak Yürekli*, Christian Faber**

*BMW Group Dingolfing

**Hochschule Landshut – University of Applied Sciences

<mailto:michael.strohmeier@bmw.de>

Die optische Inline-Erkennung von Defekten in der Blechumformung fordert eine Single-Shot Lösung aufgrund der vorherrschenden Schwingungen im Prozess. Die Wavelet-Transformation liefert im Vergleich zur Einseitenbanddemodulation ein lokales Frequenzspektrum, wodurch eine ortszugeordnete Bestimmung der Phaseninformation räumlich lokalisierter Defekte ermöglicht wird.

1 Einführung

Im Rahmen der Qualitätsüberwachung gilt die optische Messtechnik heutzutage oftmals als fester Bestandteil der industriellen Fertigung. Im Anwendungsfall der Blechumformung im Automobilbau gilt es, allgemein Geometrie- und Oberflächenfehler an Karosserieteilen im Serienprozess zu detektieren. Aus messtechnischer Sicht liegt dabei eine extrem herausfordernde Umgebung vor, welche besonders durch Schwingungen, limitierte Bauräume, beölte und komplexe Geometrien sowie enge Zeitfenster charakterisiert ist [3]. In [3,4] wurde für diesen Anwendungsfall bereits eine messtechnische Lösung mithilfe der Kombination aus inverser Streifenprojektion [1] und Einseitenbanddemodulation (SSBD) [2] vorgestellt. Daraus ergibt sich eine optische Single-Shot-Methode, welche eine 100%-Inline-Prüfung im Serienprozess ermöglicht. In diesem Beitrag wird anhand der Wavelet-Transformation (CWT) eine alternative Auswertestrategie zur Einseitenbanddemodulation für die Phasenberechnung betrachtet. Darauf aufbauend wird ein Vergleich zwischen globaler und lokaler Frequenzbewertung am konkreten Anwendungsfall der Detektion lokaler Defekte abgeleitet.



Abb. 1 Anwendungsgebiet Automobilbau: Inspektion Seitenrahmen: Links: Platzierung Messsystem. Rechts: Beispiel Einschnürung. (siehe [3])

2 Motivation zur Wavelet-Transformation

Takeda stellte 1982 auf Basis der Einseitenbanddemodulation ein Verfahren der Frequenzanalyse für die optische Messtechnik vor, mit welchem sich durch Fourier-Analyse und Abzug der Trägerfrequenz im Frequenzraum die häufig gewünschte

Phaseninformation direkt anhand z.B. eines einzelnen Bildes berechnen lässt [2,4]. Da das Verfahren auf Fourier-Transformation basiert, ergibt sich im Frequenzraum grundsätzlich ein globales Spektrum, in welchem der Seitenbandpeak lokalisiert, ausgeschnitten und entsprechend zurücktransformiert werden muss. Die stark lokalen Defekte in der Kameraaufnahme stellen jedoch ein breitbandiges Frequenzspektrum dar. Ein einfacher Frequenzausschnitt bringt somit grundsätzlich einen gewissen Fehler mit sich. Nach der Rücktransformation zeigt sich dies in Form von Phasen-Artefakten besonders in den Nachbarbereichen des Defekts. Dies gilt ebenso für Schnittkanten und allgemein Begrenzungen im Kamerabild.

Demgegenüber liefert die Wavelet-Transformation ein lokales Frequenzspektrum, wodurch die im Bild vorkommenden Frequenzanteile besser den lokalisierten Defekten zugeordnet werden können. Gegenüber der Zerlegung des Signals in harmonische Schwingungen (Fourier-Transformation), wird bei der Wavelet-Transformation das Messsignal mit sog. „Mother Wavelets“ mit endlichem Träger gefaltet. Diese sind, auf Kosten der Frequenzauflösung, räumlich begrenzt definiert, was die lokale Frequenzbewertung letztlich ermöglicht (Abb.2). Dadurch kann in jedem Punkt ein Phasenwert berechnet werden, der sich nur aus der unmittelbaren Umgebung der jeweiligen Messstelle ergibt.

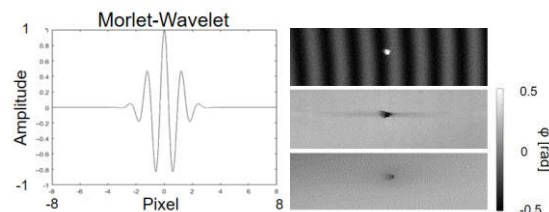


Abb. 2 Links: 1D-Morlet „Mother Wavelet“ (Bildbereich). Rechts: Einfluss eines lokalen Defekts auf umliegende Pixel. Oben: Bildausschnitt Kameraaufnahme. Mitte: Phasenkarte mittels Einseitenbanddemodulation. Unten: Phasenkarte mittels Wavelet-Transformation

3 Parametrisierung

Die Wahl des „Mother Wavelets“ sollte sich grundsätzlich an der Aufgabenstellung orientieren. In diesem Beitrag wird das sogenannte *Morlet-Wavelet* verwendet, welches direkt im Frequenzraum als Gaußverteilung definiert wird:

$$Z = e^{-\sigma^2 \cdot \frac{1}{2}((X-\Omega)^2 + (\varepsilon \cdot Y)^2)} \quad (1)$$

Mittels Ω wird die Translation im Frequenzraum und somit die Grundfrequenz definiert. Weiterhin lässt sich über den Radius σ die Anzahl an Schwingungen (vgl. Abb.2 links) und über den Parameter ε die Symmetrie in x- und y-Richtung festlegen.

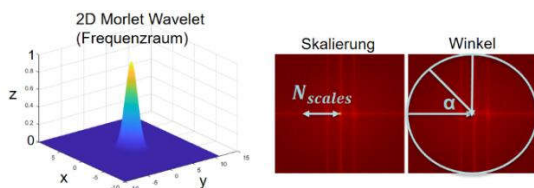


Abb. 3 Links: Morlet-Wavelet im Frequenzraum. Rechts: Parameter für die Transformation im Frequenzraum

Für die Transformation lassen sich Skalierungsfaktoren und Winkel definieren, welche die Schrittweite und Bewegungsrichtung im Frequenzraum vorgeben. Für die Anzahl $N_{scales} * N_{angles}$ wird nun eine Multiplikation der Wavelet-Maske mit der Fourier-transformierten des Bildes durchgeführt. Im resultierenden Bildstapel lässt sich anhand der maximalen Amplitude für jeden Bildpunkt die passende lokale Phase separat bestimmen.

4 Ergebnisse aus der Anwendung

Nachfolgend ist der Vergleich der berechneten Phaseninformation anhand SSBD und CWT gezeigt. Anhand der Schnittdarstellung mit und ohne Defekt soll der Anteil des Phasenrauschens und die Ausprägung des Defekts veranschaulicht werden.

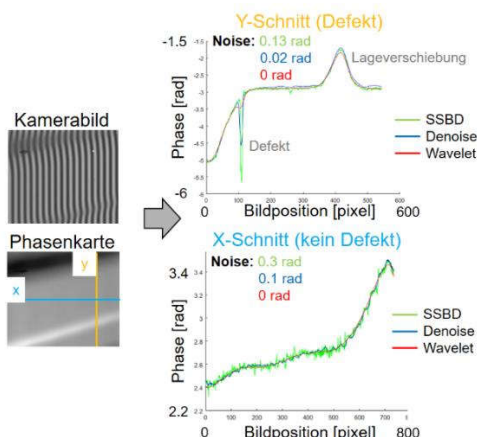


Abb. 4 Vergleich Auswerteverfahren. Schnittvergleich der Phasenkarte berechnet mittels SSBD, CWT und „denoised“ SSBD

Aufgrund der ungleichmäßigen Reflektanzverteilung auf der Blechoberfläche ergibt sich ein Phasenrauschen in der Frequenzauswertung mit SSBD. Durch den Tiefpass-Charakter der Wavelet-Masken verschwindet dieses Phasenrauschen bei der CWT. Als dritte Option wurde eine kombinierte Auswertung betrachtet, bei welcher das Kamerabild zunächst mittels eines „Sinc“-Wavelets strukturerhaltend geglättet wird und im Anschluss die Phasenauswertung mittels SSBD erfolgt („denoised SSBD“). Dies stellt einen Kompromiss zwischen geringem Phasenrauschen bei gleichzeitig schneller Berechnungszeit und einfacherer Parametrisierung dar. Die bereits erwähnte Tiefpass-Charakteristik der Wavelet-Transformation spiegelt sich ebenso im Phasenverlauf wider. Grundsätzlich ergibt sich eine weichere und (abhängig von der Parametrisierung) etwas geringere Ausprägung des Defekts im Phasenbild, jedoch mit weniger Rand-Artefakten.

5 Zusammenfassung

Die Wavelet-Transformation bietet durch die Eigenschaft der lokalen Frequenzauswertung die Möglichkeit, örtlich zugeordnete Phaseninformationen des Messsignals zu berechnen. Dadurch lässt sich die Qualität der Phase im Vergleich zur Einseitenbanddemodulation erhöhen und der Einfluss von lokalen Merkmalen im Bild auf andere Bereiche reduzieren. Aufgrund der Parametrisierung des „Mother Wavelets“ als auch der Transformation gestaltet sich der Einsatz im industriellen Umfeld jedoch schwierig. Weiterhin ist die Auslegung des „Mother Wavelets“ möglichst nahe an den zu erwartenden Defekt anzupassen, welcher im Vorfeld oft unbekannt ist. Die Vielzahl an benötigten Einzeltransformationen verlangsamt die Auswertung und ist je nach verfügbarem Zeitfenster kritisch zu betrachten. Die Nutzung der Wavelet-Transformation als „Denoising“-Vorfilter stellt jedoch eine vielversprechende Lösung für den industriellen Einsatz dar.

Literatur

- [1] A. Pösch, T. Vynnyk, E. Reithmeier, „Using Inverse Fringe Projection to Speed Up the Detection of Local and Global Geometry Defects on Free Form Surfaces“ in: Proc. SPIE Vol. 8500, 8500B-1 (2012)
- [2] M. Takeda, H. Ina, S. Kobayashi, „Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry“ in: Journal of the Optical Society of America Vol. 72, pp. 156-160 (1982)
- [3] M. Strohmeier, R. Cisek, C. Schelske, C. Faber, „Linienintegration eines Single-Shot-3D-Sensors in einer Saugerbalken-Pressen“ in: Proc. DGaO 118 A21 (2017)
- [4] M. Strohmeier, M. Schröder, C. Faber, „Optical inline inspection detecting 3D-defects on complex free-form surfaces in harsh production environments“ in: tm - Technisches Messen, Band 86, Heft 6, Seiten 335–344, ISSN (Online) 2196-7113, DOI: <https://doi.org/10.1515/teme-2019-0013> (2019)