

Optische Präzisionsmessung von Nick-, Gier- und Rollwinkel mittels Autokollimator

A. Ruprecht*, J. Böwer**, J.-H. Eggers**, R. Tutsch**

*TRIOPTICS GmbH

**iprom, TU Braunschweig

<mailto:a.ruprecht@trioptics.com>

Die präzise Messung von Nick-, Gier- und Rollwinkelbewegung ist von großem Interesse beispielsweise bei der Prüfung der Geradheit von Linearachsen. Es wird ein modifizierter Autokollimator vorgestellt, mit dem es möglich ist, alle drei Winkelbewegungen gleichzeitig präzise zu messen.

1 Einführung

Für die Messung von Nick- und Gierwinkel ist der Einsatz von Autokollimatoren das gängige Verfahren. Die Messung des Rollwinkels erfordert meist ein zusätzliches Messsystem, bei dem häufig relativ zu einer planen Referenzfläche gemessen wird, die für Geradheitsmessungen entlang der Verfahr- richtung angeordnet ist. Die relative Winkelbewegung zum Referenzspiegel kann mit verschiedenen Messsystemen gemessen werden [1].

Ein weiterer mehrfach verwendeter Ansatz nutzt einen polarisierenden Reflektor und misst die Polarisationsrichtung des reflektierten Lichtes [2]. Mit diesem Ansatz ist kein zusätzlicher Referenzspiegel entlang des Verfahrweges notwendig, es ist aber weiterhin ein zusätzliches Messsystem ausschließlich für die Bestimmung des Rollwinkels notwendig.

Ein Messsystem, mit dem alle drei Winkelbewegungen gemessen werden können, ist vorteilhaft als einfach verwendbares Messgerät z.B. für die Messung einer Linearbewegung.

2 Rollwinkelmessung mit Autokollimatoren

Bei Verwendung einer Planfläche als Reflektor kann der Rollwinkel nicht mit einem Autokollimator detektiert werden, da diese Winkelbewegung in der Ebene der Planfläche liegt. Entsprechend muss ein anderer Reflektor verwendet werden, um alle drei Winkel messen zu können.

Ein Ansatz, der bei Firma *TRIOPTICS* bereits eingesetzt wurde, verwendet einen transparenten Keil als Reflektor. Durch die Reflexe an Vorder- und Rückseite werden zwei Bilder der Strichplatte generiert. Die Richtung der Verbindungsgeraden der beiden Bilder entspricht der Rollwinkelausrichtung des Keils. Mit diesem Ansatz ist es möglich, alle drei Winkelrichtungen zu messen. Die Auflösung der Rollwinkelmessung ist jedoch meist geringer als die der anderen beiden Winkel.

3 Wahl des Reflektors

Eine größere Sensitivität bezüglich des Rollwinkels lässt sich durch die Nutzung eines Dachkantenreflektors erreichen. Dieser Reflektor wirkt bezüglich einer Winkelbewegungsrichtung als Retroreflektor und bezüglich der dazu orthogonalen Richtung wie ein Planspiegel. Eine Rotation des Reflektors bewirkt eine Rotation des Bildes in einem Autokollimator um den doppelten Winkel. Ein Nachteil dieses Reflektors ist, dass durch die Retroreflex-Eigenschaft bezüglich eines Winkels entweder der Nick- oder der Gierwinkel nicht gemessen werden kann.

Dieser Nachteil kann umgangen werden, wenn ein 90°-Prisma als Reflektor verwendet wird (siehe Abb. 1). Der Planflächenreflex der Vorderseite lässt sich zur Messung von Nick- und Gierwinkel nutzen während mit dem Rückseitenreflex wie bereits beschrieben einer dieser Winkel und der Rollwinkel gemessen werden können.

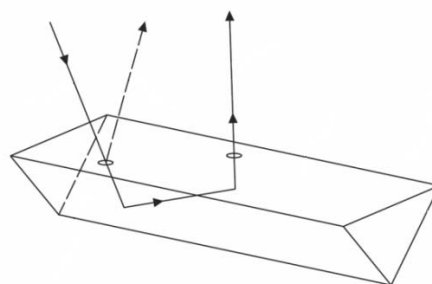


Abb. 1 Reflexe an Planfläche und Rückseite eines 90°-Prismas.

Die durch Vorder- und Rückseitenreflex erzeugten Bilder sind zueinander gespiegelt, bezüglich der lateralen Lage aber zunächst nicht zueinander verschoben. Eine Rollbewegung des Reflektors lässt die beiden Bilder relativ zueinander rotieren. Wird ein Kreuz als Strichplatte benutzt, kann die Überlagerung der beiden Bilder schwer zu trennen sein. Die Überlagerung kann jedoch auch genutzt

werden, um die Relativbewegung der beiden Bilder zu detektieren.

4 Nutzung des Moiré-Effektes

Dies lässt sich erreichen, indem Gitterstrukturen vorzugsweise auf die Randbereiche der Strichplatte aufgebracht werden. Wenn diese an gegenüberliegenden Seiten positioniert sind und Gitter mit leicht unterschiedlicher Gitterkonstante eingesetzt werden, entsteht bei Überlagerung der zueinander gespiegelten Bilder ein Moiré-Muster. Die Phase dieses Moiré-Musters ist sehr sensitiv gegenüber der Relativbewegung der beiden Bilder zueinander. Für kleine Winkel kann die Rotationsbewegung des Gitters am Rand des Bildfeldes als lineare Bewegung genähert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung eines Moiré-Musters besteht in der Abbildung eines Gitters mit einer Gitterkonstanten von ca. 2 Pixeln. In diesem Fall entsteht das Moiré-Muster aus der Wechselwirkung zwischen abgebildetem Gitter und Pixelgitter der CCD-Kamera. Dieser Ansatz kann auch dazu genutzt werden lediglich Nick- und Gierwinkel bei Verwendung eines Planspiegels zu messen.

5 Funktionsmuster

Zur Verifikation des zum Patent angemeldeten Ansatzes wurde ein Funktionsmuster aufgebaut und charakterisiert. Zusätzlich wurde die Signalentstehung simuliert, um den Einfluss verschiedener Parameter auf das Messergebnis abschätzen zu können.

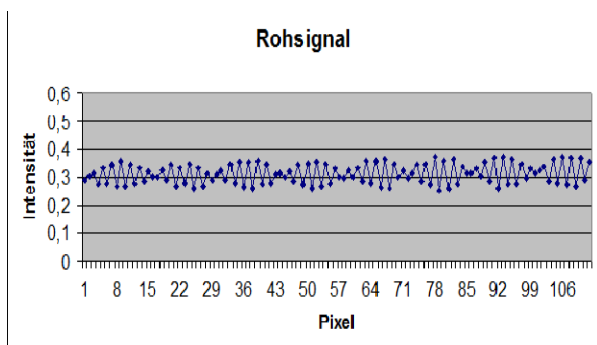


Abb. 2 Linienschnitt des Signals des Funktionsmusters.

Im Funktionsmuster wird der Moiré-Effekt direkt durch eine Wechselwirkung zwischen einem abgebildeten Gitter und dem Pixelraster erzeugt. Durch die relativ geringe Gitterkonstante von ca. 10 μm ist die Abbildung nicht optimal und der Kontrast des Moiré-Signals entsprechend reduziert. In Abb. 2 ist ein typisches Signal des Funktionsmusters im Randbereich der CCD-Kamera aufgetragen.

Bei dem Funktionsmuster wurde ein Autokollimator mit 150 mm Brennweite verwendet. Über die Mes-

sung des statischen Rauschens im Winkelmesswert wurde die Auflösung des Systems abgeschätzt. Für den Nick- und Gierwinkel wurde ein statisches Rauschen von 0,02" rms gemessen, während für den Rollwinkel 0,4" rms gemessen wurde.

6 Ausblick

Durch eine Verfeinerung der Parameter von Gitter und Autokollimator ist eine deutliche Steigerung der Auflösung bei der Rollwinkelmessung zu erwarten. Damit wird ein Messsystem auf Basis eines Autokollimators zur Verfügung gestellt werden können, das alle drei Winkelbewegungen simultan mit hoher Präzision misst.

Literatur

- [1] W.Gao, et. al., „Measurement of multi-degree-of-freedom error motions of a precision linear air-bearing stage“, Precision Engineering, Volume 30, Issue 1, January 2006, S. 96-103
- [2] H.-H. Schüßler, „Verfahren und Vorrichtung zur laufenden Messung des Rollwinkels eines beweglichen Maschinenteils“, 1983, Patent Nr. DE3322713A1