

Charakterisierung und Vergleich von Firewire-basierten Farb-CCD-Kamerasystemen für den Einsatz bei der räumlich phasenschiebenden elektronischen Specklemuster Interferometrie (ESPI)

G. Bischoff*, B. Kemper*, D. Dirksen*, G. von Bally*

*Labor für Biophysik, Universität Münster
mailto:gbischof@uni-muenster.de

Vier Firewire-basierte CCD-Kamerasysteme werden für den Einsatz bei der räumlich phasenschiebenden ESPI miteinander verglichen. Die Charakterisierung der Kamerasysteme erfolgt anhand des Differenzphasenrauschens. Es werden die optimalen Betriebsparameter für den Einsatz bei einer Laserlichtwellenlänge von $\lambda=514,5$ nm ermittelt.

1 Einführung

Die Elektronische Specklemuster Interferometrie (ESPI) ist ein optisches Verfahren zur berührungslosen, zerstörungsfreien und hochauflösenden Vermessung von Bewegungen und Oberflächenverformungen. Bei der ESPI erfolgt die Aufzeichnung der überlagerten Objekt- und Referenzwelle im Allgemeinen mit einem CCD-Sensor. Der Einsatz von räumlichen Phasenschiebepverfahren ermöglicht dabei eine gegenüber äußeren Störungen unempfindliche quantitative Bestimmung der Differenzphase, aus der sich unter geeigneten Randbedingungen die zugrundeliegende Deformation bestimmen lässt¹. Insbesondere bei Untersuchungen an biologischen Oberflächen (z.B. in der Endoskopie) sind zusätzlich zu den interferometrischen Daten auch Farbinformationen über das untersuchte Objekt bei Weißlichtbeleuchtung von großem Vorteil. Aus diesem Grund werden drei Firewire-basierte Farb-CCD-Kamerasysteme im Vergleich mit einem SW-CCD-Kamerasystem auf ihre Einsatzmöglichkeit bei der räumlich phasenschiebenden ESPI bei einer Laserlichtwellenlänge von $\lambda=514,5$ nm untersucht.

2 Charakterisierung der Kameras

Für den Einsatz bei der räumlich phasenschiebenden ESPI werden vier Firewire-basierte CCD-Kamerasysteme miteinander verglichen:

- Sony XCD X700, 1/2" CCD-Sensor, 1024x768, S/W;
- Sony DFW X700, 1/2" CCD-Sensor, 1024x768, RGB-Filtermatrix;
- Sony CCD-Sensor ICX069AKB, 1/4", 752x582, CMYG-Filtermatrix;
- Sony CCD-Sensor ICX239AKE, 1/6", 752x582, CMYG-Filtermatrix;

Die Schwarz/Weiß-Kamera Sony XCD X700 liefert Graustufenbilder in einer Digitalisierungstiefe von 8 Bit. Die Kamera Sony DFW X700 überträgt die Bilder im YUV-Format (packed 4:2:2), welches die zu übertragende Datenmenge durch eine verlustbehaftete Kompression der Farbinformation reduziert. Die Farb-CCD-Sensoren ICX069AKB und ICX239AKE werden über eine analoge Kamera Steuereinheit (Storz-Telecam Pal) und über einen Analog-Digital-Konverter (ADVC-100 der Firma „Canopus“) an die IEEE-1394 Schnittstelle des Bildverarbeitungsrechners angeschlossen und liefern Halbbilder (Interlaced Modus) im RGB24-Format.

Die Charakterisierung der Kamerasysteme erfolgt mit einem räumlich phasenschiebenden endoskopischen ESPI-System (siehe Abbildung 1).

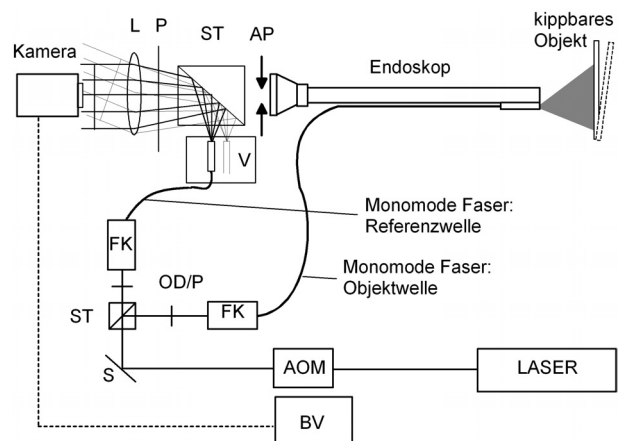


Abb. 1 Schematischer Aufbau des zur Kameracharakterisierung eingesetzten räumlich phasenschiebenden endoskopischen ESPI-Systems. L: Kamera-Objektiv; P: Polarisator; ST: Strahlteiler; AP: Aperturblende; V: x-y-z-Verschiebeeinheit zur Positionierung der Faser der Referenzwelle; FK: Faserkoppler; OD/P: Neutralglasabschwächer in Kombination mit einem Polarisator; S: Spiegel; AOM: Akustooptischer Modulator; BV: Bildverarbeitung;

3 Ergebnisse

Die vier Kamerasysteme werden anhand des Differenzphasenrauschens¹ für die räumlich phasenschiebende ESPI in Abhängigkeit von den folgenden Einflussfaktoren charakterisiert:

1. Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der mittleren Bildhelligkeit der aufgezeichneten Intensitätsverteilung bei konstanter Belichtungszeit. ($I_O/I_R = 1/10$)

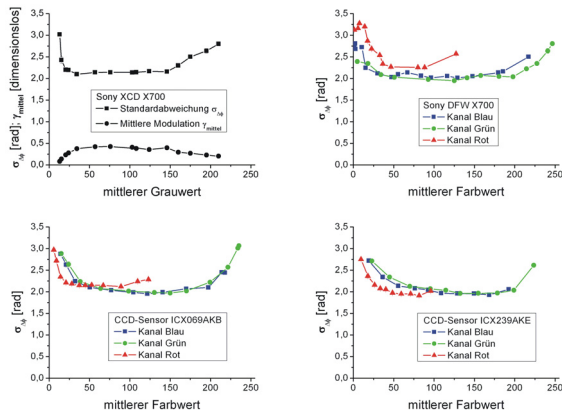


Abb. 2 Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der Bildhelligkeit.

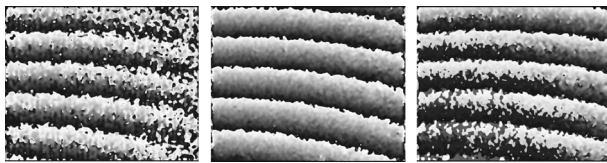


Abb. 3 Differenzphasenbilder bei unterschiedlicher Bildhelligkeit am Beispiel des Sensors ICX069AKB (grüner Kanal). links: unterbelichtet (mittlerer Grünwert = 15); mitte: optimal belichtet (mittlerer Grünwert = 150); rechts: überbelichtet (mittlerer Grünwert = 235);

2. Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der Belichtungszeit der Kamera bei konstanter mittlerer Bildhelligkeit der aufgezeichneten Intensitätsverteilung. ($I_O/I_R = 1/10$)

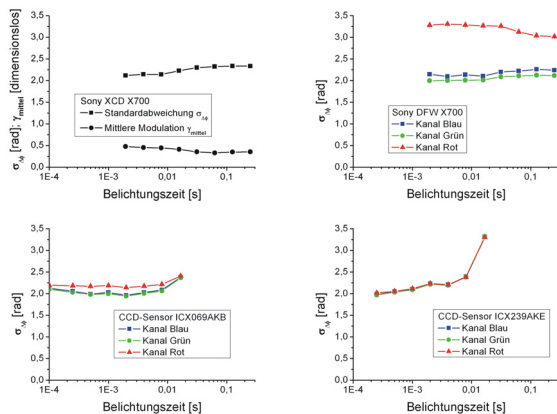


Abb. 4 Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der Belichtungszeit.

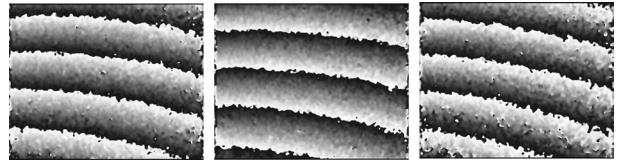


Abb. 5 Differenzphasenbilder bei unterschiedlicher Belichtungszeit am Beispiel des Sensors ICX069AKB (Kanal Grün). links: 1/10000 s; mitte: 1/500 s (optimal); rechts: 1/60 s;

3. Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der Anzahl der Differenzphasenstreifen pro Bild. ($I_O/I_R = 1/10$)

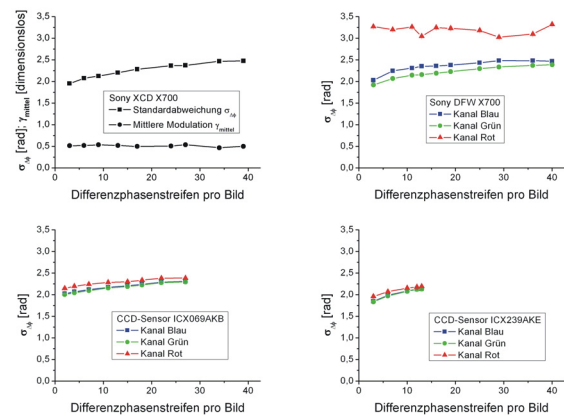


Abb. 6 Differenzphasenrauschen in Abhängigkeit von der Streifenzahl pro Differenzphasenbild.

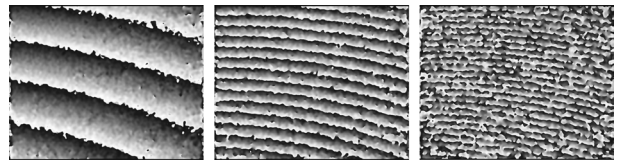


Abb. 7 Differenzphasenbilder bei unterschiedlicher Streifendichte am Beispiel des Sensors ICX069AKB (Kanal Grün). links: 4 Streifen; mitte: 15 Streifen; rechts: 27 Streifen;

4 Zusammenfassung

Anhand der durchgeführten Charakterisierungen wurden optimale Betriebsparameter bezüglich der Streifendichte, der Belichtungszeiteinstellung und der Bildhelligkeit ermittelt. Dabei wurde gezeigt, dass Firewire-basierte Farb-CCD-Kamerasysteme bei der räumlich phasenschiebenden ESPI bei einer Laserlichtwellenlänge von $\lambda=514,5$ nm eingesetzt werden können und damit eine sehr kompakte Realisierung der Bildverarbeitung mit Standardschnittstellen möglich ist.

5 Referenzen

¹ B. Kemper, J. Kandulla, D. Dirksen, G. von Bally (2003): Optimization of spatial phase shifting in endoscopic electronic speckle pattern interferometry. Optics Communications 217 (2003) 151 – 160;