

Vergleich mechanisch robuster Scannerkonzepte mit großer Empfangsapertur

Siegwart Bogatscher *, Andreas Streck**, Maik Fox**, Wilhelm Stork*

*Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**ELOVIS GmbH, Karlsruhe

mailto:siegwart.bogatscher@kit.edu

Scannende MEMS-Mikrospiegel ermöglichen neuartige, arraybasierte Scannerkonzepte, die sich durch hohe Scanfrequenzen, mechanische Stabilität, große Empfangsaperturen und damit hohe Reichweiten auszeichnen. In diesem Beitrag werden drei dieser Konzepte hinsichtlich ihrer Kosten aufgrund unterschiedlicher Waferflächen miteinander verglichen.

1 Einführung

Scannende Sensoren bieten in der optischen Messtechnik viele Vorteile aufgrund ihrer sequentiellen Erfassung der räumlichen Umgebung. Ein kritischer Schwachpunkt solcher Systeme ist jedoch die Tatsache, dass der Einsatz beweglicher Bauteile zu Verschleiß und Empfindlichkeit gegenüber Stößen und Vibrationen führt. Dieses Problem wird durch eine Vergrößerung der Empfangsapertur zur Erhöhung der Empfangsleistung zusätzlich verschärft. Grund hierfür ist die dynamische Deformation δ_{dyn} eines Scanspiegels, die gemäß

$$\delta_{\text{dyn}} \propto \frac{D_{\text{Sp}}^5 \cdot f_{\text{scan}}^2 \cdot \alpha}{h_{\text{Sp}}} \quad (1)$$

mit dem Spiegeldurchmesser D_{Sp} , der Scanfrequenz f_{scan} , dem Scanwinkelbereich α und der Spiegeldicke h_{Sp} zusammenhängt [1].

Scannende MEMS-Mikrospiegel ermöglichen aufgrund der geringen Mikrospiegeldurchmesser und der daraus resultierenden geringen Eigenmassen sowohl hohe Scanfrequenzen als auch mechanische Stabilität. Allerdings sind neuartige, arraybasierte Systemkonzepte zur Vergrößerung der Empfangsapertur unabdingbar. Im Folgenden werden drei dieser Scannerkonzepte hinsichtlich ihrer prinzipiellen Kostenunterschiede miteinander verglichen.

2 Systemkonzepte

Das erste betrachtete Systemkonzept, das nachfolgend als *mechanische Nachführung* bezeichnet wird, ist in Abb. 1 schematisch dargestellt und findet bspw. in [2] Anwendung. Das zweite Konzept wird hier als *elektronische Nachführung* bezeichnet. Es ist in Abb. 2 schematisch dargestellt und wird bspw. in [3] näher erläutert. Das dritte, hybride Systemkonzept, besteht aus einer Kombination aus den ersten beiden Systemkonzepten und ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

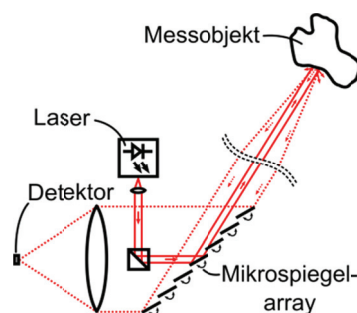


Abb. 1 Schematische Darstellung der mechanischen Nachführung, bestehend aus einem kollimierten Laser, einem Strahlteiler, einem zweiachsig synchron schwingenden Mikrospiegelarray, einer Empfangsoptik und einem Detektor.

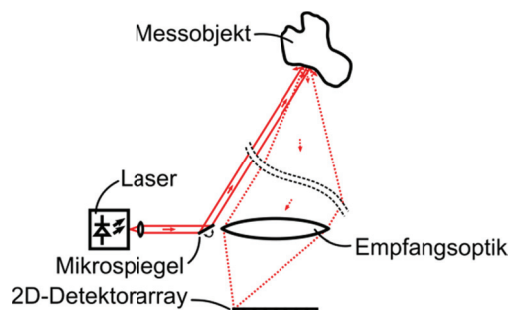


Abb. 2 Schematische Darstellung der elektronischen Nachführung, bestehend aus einem kollimierten Laser, einem zweiachsig schwingenden Sendemikrospiegel, einer Empfangsoptik und einem 2D-Detektorarray.

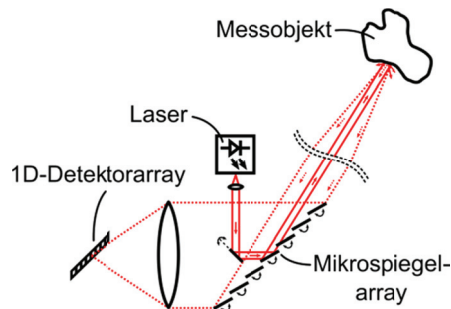


Abb. 3 Schematische Darstellung der hybriden Nachführung, bestehend aus einem kollimierten Laser, einem einachsigen schwingenden Sendemikrospiegel, einem

einachsig synchron schwingenden Mikrospiegelarray, einer Empfangsoptik und einem 1D-Detektorarray.

3 Vergleichsmethodik

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den betrachteten Systemkonzepten liegen in der erforderlichen Waferfläche für Detektoren A_D und MEMS-Strukturen A_M . In erster Näherung werden die Kosten pro Wafer für Detektoren bzw. MEMS-Strukturen als gleich angenommen. Da die gesamte erforderliche Waferfläche

$$A_{W,i} = A_{D,i} + A_{M,i}, \quad i = \{1,2,3\} \quad (2)$$

in guter Näherung linear mit den Herstellungskosten der Bauteile zusammenhängt, ermöglicht sie einen Kostenvergleich der drei Systemkonzepte, wenn die Empfangsapertur $A_{Rx,1} = A_{Rx,2} = A_{Rx,3} = A_{Rx}$ identisch ist.

Herleitungen für die nachfolgenden Gleichungen finden sich in [3]. Mit der statischen Arrayverkipfung β_0 , dem vertikalen (horizontalen) Halbwinkel des Sichtfelds β_v (β_h) und dem Füllfaktor des zweiachsig schwingenden Mikrospiegelarrays $\Gamma_{M,1}$ ergibt sich die erforderliche Waferfläche für MEMS-Strukturen des ersten Systemkonzepts zu

$$A_{M,1} = \frac{A_{Rx} \cdot \sqrt{2} \cdot \left[\cos\left(\frac{\beta_v - \beta_0}{2}\right) + \sin\left(\frac{\beta_v - \beta_0}{2}\right) \right]}{\Gamma_{M,1} \cdot \cos(\beta_h/2) \cdot \cos(\beta_v - \beta_0)} \quad (3)$$

Mit der Brennweite der Empfangsoptik f wird die erforderliche Waferfläche für Detektoren im Fall von Systemkonzept 2

$$A_{D,2} = 4f^2 \cdot \tan(\beta_h) \cdot \tan(\beta_v) \quad (4)$$

Die Waferfläche für MEMS-Strukturen bei Systemkonzept 3 setzt sich aus dem Anteil

$$A'_{M,3} = \frac{A_{Rx} \cdot \sqrt{2} \cdot \left[\cos\left(\frac{\beta_v - \beta_0}{2}\right) + \sin\left(\frac{\beta_v - \beta_0}{2}\right) \right]}{\Gamma_{M,3} \cdot \cos(\beta_h) \cdot \cos(\beta_v - \beta_0)} \quad (5)$$

sowie aus dem des Sendemikrospiegels zusammen

$$A_{M,3} = A_{M,2} + A'_{M,3} \quad (6)$$

Die erforderliche Waferfläche für das 1D-Detektorarray für Systemkonzept 3 beträgt

$$A_{D,3} = 2f \cdot \tan(\beta_h) \cdot h_{D,3} \quad (6)$$

Eventuelle gegenseitige Abschattungen der einzelnen Mikrospiegel werden in diesem Zusammenhang nicht betrachtet und müssen gesondert untersucht werden.

4 Ergebnisse

Unter Verwendung der Gleichungen (2) bis (6) und der Werte aus Tab. 1 kann nun die gesamte erforderliche Waferfläche $A_{W,i}, i = \{1,2,3\}$ in Abhängigkeit des Sichtfelds $\alpha_{max,h} = 2\beta_h$ berechnet werden.

Parameter	Wert
Detektorfläche $A_{D,1}$	$\pi \cdot (50 \mu\text{m})^2$
MEMS-Waferfläche $A_{M,2}$	12,25 mm ²
Detektorhöhe $h_{D,3}$	100 μm
Füllfaktor $\Gamma_{M,1} = \Gamma_{M,3}$	0,5
Arrayverkipfung β_0	20°
Blendenzahl k	1
Aspektverhältnis $\alpha_{max,h}/\alpha_{max,v}$	2 : 1

Tab. 1 Werte für die Berechnung der erforderlichen Empfangsapertur für alle drei Systemkonzepte.

Die Ergebnisse dieser beispielhaften Berechnungen sind in Abb. 4 wiedergegeben.

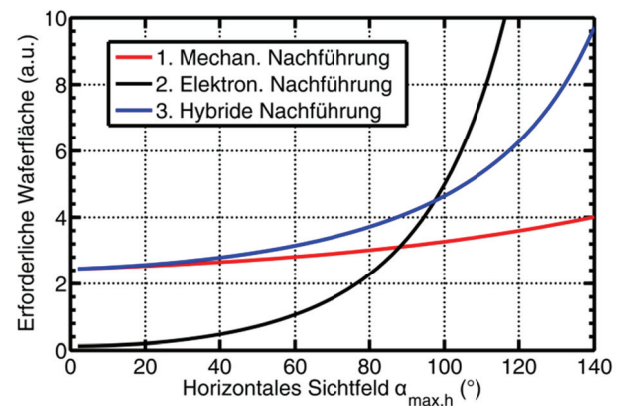


Abb. 4 Erforderliche Waferfläche der drei verglichenen Systemkonzepte in Abhängigkeit des horizontalen Sichtfelds.

5 Fazit

Aus Abb. 4 lässt sich schließen, dass die elektronische Nachführung im Vergleich zur mechanischen bzw. hybriden Nachführung besonders kostengünstig umgesetzt werden kann, wenn kein großes Sichtfeld erforderlich ist. Oberhalb eines bestimmten Grenzwinkels, der durch den Schnittpunkt zwischen der schwarzen und der roten Kurve definiert ist, führt der Einsatz der mechanischen Nachführung bei hohen Stückzahlen zu geringeren Kosten. Erwartungsgemäß liegen die Kosten für das Hybridkonzept in diesem Bereich zwischen den Kosten der anderen beiden Konzepte.

Literatur

- [1] P. J. Brosens: „Dynamic Mirror Distortions in Optical Scanning“ in: *Appl. Opt.* **11**(12), S. 2987-2989, (1972)
- [2] B. Satzer et al., „Micromirror-based sending and detection optical assembly for time-of-flight laser scanners“ in: *Proc. SPIE* **8439**, 84390Z (2012)
- [3] S. Bogatscher et al., „Large aperture at low cost three-dimensional time-of-flight range sensor using scanning micromirrors and synchronous detector switching“ in: *Appl. Opt.* **53**(8), S. 1570-1582, (2014)