

Design für ein Zoomobjektiv mit deformierbaren Spiegeln

Kristof Seidl, Jens Knobbe, Hubert Lakner

Fraunhofer Institut für photonische Mikrosysteme, Dresden

<mailto:kristof.seidl@jpms.fraunhofer.de>

Es wird ein Design für ein Schiefspiegler-Zoomobjektiv vorgestellt, bei dem sich durch eine gezielte Änderung der Krümmungsradien von zwei Spiegeln der diagonale Bildwinkel zwischen 20° und 60° variieren lässt. Die maximale Anfangsöffnung des Schiefspieglers erreicht dabei einen Wert von 4,5.

1 Einführung

Es bestand das Ziel für photogrammetrische Messaufgaben in Verbindung mit einem unbemannten Kleinflugzeug (UAV) ein robustes und leichtes Zoomobjektiv mit einem vollen diagonalen Bildfeldwinkel von 60° bis 20° bereitzustellen, welches gleichzeitig Bilddaten im sichtbaren (VIS) und nahen Infrarot (NIR) aufnehmen kann. Vor allem im Bereich des Umweltmonitoring oder der Denkmalpflege werden heute zunehmend neben sichtbaren Bilddaten auch Information aus dem NIR benötigt. Da die zulässige Traglast von UAVs (siehe Abb. 1) mit typischerweise 300 g bis 500 g stark begrenzt ist, kann eine gleichzeitige Verwendung von unterschiedlichen Kamerasystemen nicht erfolgen.



Abb. 1 Unbemanntes Kleinflugzeug (UAV) mit einer für Octokopter typischen maximalen Traglast von 300 g.

Damit der Rechen- und Kalibrierungsaufwand des kombinierten Kamerasystems gering bleibt, ist es von Vorteil, wenn die Bilddaten synchron und parallaxfrei aufgenommen werden. Um das optische System robust gegenüber Vibrationen zu gestalten, erscheinen anstatt der sonst üblichen verschiebbaren optischen Komponenten, Elemente mit variablen Brechkraften sinnvoll.

Resultierend aus den genannten Forderungen ist ein farbfehlerfreies, vollreflektives System mit deformierbaren Spiegeln (Optical Power Zoom) ein vielversprechender Ansatz.

2 Designansatz

Trotz einer umfangreichen Literaturrecherche konnten keine Veröffentlichungen zu aktiven Spiegelzoomobjektiven mit großen Bildfeldwinkeln gefunden werden. Daher wurden zunächst Off-Axis-Spiegelobjektive mit einer festen Brennweite als Startpunkt gewählt [3]. Weitwinklige Spiegelsysteme verwenden außeraxiale Flächenstücke einer rotationssymmetrischen Flächenfolge mit einer gemeinsamen optischen Achse, wodurch eine vollständige Abschattung des zentralen Bildfeldes verhindert wird. Um ausgehend von diesen Off-Axis-Systemen mit fester Brennweite ein Zoomsystem zu realisieren, sind mindestens zwei deformierbare Elemente nötig. Aus der Literatur sind bereits krümmungsvariable, rotationssymmetrische Spiegel mit einer unveränderbaren konischen Konstante über ihren gesamten Deformationsbereich bekannt [4]. Werden auch für das aktive Spiegelzoomobjektiv rotationssymmetrische deformierbare Spiegel verwendet, so haben die optischen Elemente keine gemeinsame Achse mehr und das System verwandelt sich prinzipiell in einen Schiefspiegler. Da für die deformierbaren Spiegel genügend Bauraum zur Montage und ihre Aktorik vorhanden sein muss, ist es von Vorteil den ersten und letzten Spiegel deformierbar zu gestalten [1]. Weiterhin muss für den Bildsensor und deren Elektronik genügend Freiraum bereit gestellt werden.

3 Optisches Design

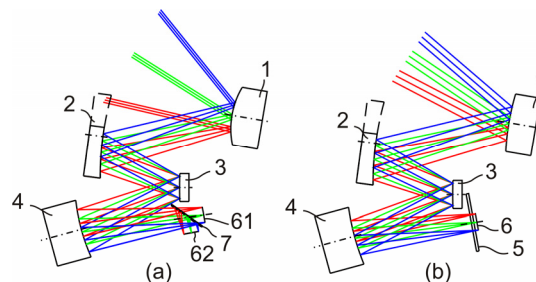


Abb. 2 Optisches Design eines aktiven Schiefspiegler-Zoomobjektivs: (a) Weitwinkel; (b) Tele; 1, 4 deformierbare Spiegel, 2, 3 bikonische Spiegel, 5 Deckglas 61, 62, 6 Bildsensor, 7 Strahlteiler

Wie in Abb. 2 zu sehen, ist das optische Design durch einen kompakten, bildseitig telezentrischen Strahlengang charakterisiert. Weiterhin verlaufen auch die Hauptstrahlen zwischen dem Primär- und Sekundärspiegel nahezu parallel, was eine effektive Unterdrückung von Falschlicht ermöglicht. Die oben erwähnte Kombination von unterschiedlichen Spektralbereichen kann mit einem dichroitischen Strahlteiler vor dem Bildsensor ermöglicht werden (siehe Abb. 2). Der für Off-Axis-Systeme und Schiefspiegler unvermeidbare Astigmatismus wird mit den beiden verbleibenden nicht deformierbaren Spiegeln (2, 3) unter Verwendung von bikonischen Oberflächen bestmöglich ausgeglichen. Der Sekundärspiegel wird zusätzlich als Off-Axis-Segment verwendet. Die daraus resultierende Abbildungsqualität erreicht zwar nicht die Güte kommerziell erhältlicher Festbrennweiten, ist jedoch ausreichend, um einen Großteil möglicher Applikationen zu adressieren.

4 Demonstrationssystem

Da die deformierbaren Spiegel bisher mit den benötigten Krümmungen und der Dynamik nicht realisiert werden konnten, wurden drei mechanisch identische Demonstratoren mit unterschiedlichen Brennweiten aufgebaut (siehe Abb. 3). Dabei wurden die deformierbaren Spiegel durch diamantgedrehte Elemente ersetzt. Im ersten Schritt wurde zur Bildaufnahme ein kommerziell erhältlicher CMOS-Bildsensor für den sichtbaren Spektralbereich verwendet.

Die mit diesen Demonstratoren aufgenommenen Bilder zeigen auf Grund der starken Krümmungen des Primärspiegels und des gefalteten Strahlenganges signifikante Verzeichnung, die jedoch in Abhängigkeit der Brennweite nachträglich elektronisch korrigiert werden kann [2] (siehe Abb. 4).

5 Fazit

Es wurde das Design für ein farbfehlerfreies Schiefspiegler-Zoomobjektiv vorgestellt, das anstelle verschiebbarer Elemente krümmungsvariable Spiegel verwendet. Wenn es gelingt die deformierbaren Spiegel mit den geforderten Spezifikationen zu realisieren, ist es möglich ein leichtes und robustes aktives Spiegelzoomobjektiv ohne verschiebbare Komponenten für die kombinierte Aufnahme von mehreren Spektralbereichen bereit zu stellen. Die bisher realisierten mechanisch identischen Demonstratoren mit unterschiedlichen Brennweiten zeigen eine für die meisten Applikationen ausreichende Abbildungsqualität.

Literatur

[1] K. Seidl, J. Knobbe, H. Gröger: „Design of an all-reflective unobscured optical-power zoom objective“ in: *Applied Optics* **48**(21), 4097-4107 (2009)

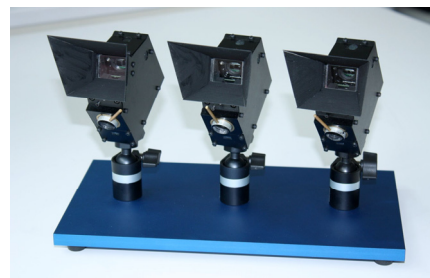


Abb. 3 Demonstrationssystem mit drei Brennweiten.



Abb. 4 Beispielaufnahmen bei unterschiedlichen Brennweiten – Weitwinkel, mittlere Brennweite, Tele.

[2] K. Seidl, J. Knobbe, D. Schneider, H. Lakner: „Distortion correction of all-reflective unobscured optical-power zoom objective“ in: *Applied Optics* **49**(14), 2712-2719 (2010)

[3] Schutzrecht US 5170284-A (19. Juli 1994). L. C. Cook (Erfinder); Hughes Aircraft Company (Anmelder): *Fast folded wide angle large reflective unobscured system*

[4] W. Greger, T. Hösel, T. Fellner, A. Schoth, C. Mueller, J. Wilde, H. Reinecke: *Low-cost deformable mirror for laser focusing*. In: Proc. SPIE 6374 (2006), 63740F