

Kompensiertes Imaging im Freifeld

Field-Based Compensated Imaging

Demonstrationsaufbau eines mobilen, hochauflösenden Beobachtungssystems mit adaptiver Optik

A mobile adaptive optics demonstration system used for high resolution imaging



Blick vom Demonstrationsaufbau über die Freistrahlstrecke zum Beobachtungsobjekt

View from the observation platform along the propagation range



Hochauflösende kontrastreiche Abbildungen sind für die Aufklärung und die Erkennung von mehreren Kilometern entfernten Objekten unerlässlich. Unvermeidliche Luftturbulenzen der Atmosphäre verschlechtern jedoch entscheidend die Abbildungseigenschaften hochwertiger Teleskope. Am Institut für Technische Physik werden kompakte bzw. mobile adaptiv optische Systeme entwickelt, welche eine deutliche Verbesserung der Abbildungsqualität bei vorliegender Turbulenz ermöglichen.

Hochauflösende Teleskopsysteme benötigen neben exzellenten Abbildungseigenschaften auch eine möglichst große Eintrittspupille, um die beugungsbedingte Auflösung zu verbessern. Durch Wind, Luftdruck- und Temperaturunterschiede entstehenden Turbulenzen im Strahlengang, die den Brechungsindex über den Strahlquerschnitt zeitlich und räumlich variieren lassen. Daraus resultiert eine Verbreiterung des minimal möglichen Beugungsflecks, was zu einem Verlust an Bilddetails führt. Adaptive Optik (AO) kann diese Einschränkungen aufheben.

Die Anforderungen an ein mobiles kostengünstiges AO System weichen stark von den Anforderungen astronomischer Großteleskope ab. Um die Vorteile der adaptiven Optik für hochauflösende Abbildungen durch turbulente Atmosphäre im Feldversuch zu demonstrieren, wurde eine mobile Teleskopplattform entwickelt. Zur Vereinfachung wurde zunächst ein infraroter Referenzlaser in der Objektebene verwendet, mit dessen Hilfe ein Wellenfrontsensor die Wellenfrontstörungen außerhalb des sichtbaren Beobachtungsbereichs detektiert. Die nachfolgende Korrektur erfolgt mit einem adaptiven Membranspiegel, der seine Oberflächenform an über 50 Stellen im Millisekundenbereich variieren kann.

High resolution and high contrast imaging is a prerequisite for successful reconnaissance, identification, and detection of distant airborne or surface objects. But, atmospheric turbulence will inevitably deteriorate the imaging process of high-quality telescopes. Research at the Institute of Technical Physics is directed to the development of compact and mobile adaptive optical systems, suitable for high resolution imaging under the presence of turbulence.

Telescope systems used for observational tasks require sufficiently large apertures to enhance the spatial resolution. Due to the propagation through turbulent zones of the atmosphere, caused by wind, temperature, or pressure differences, the distorted wavefront implicates a broadening of the imaged spot and hence a loss in optical resolution. Adaptive optics (AO) technologies can help to overcome these constraints.

The requirements on such a mobile and low cost AO differs from well known high end AO supported astronomical telescopes. To demonstrate the advantage of adaptive optics for high resolution imaging through turbulent layers a mobile telescope platform has been developed. A reference signal which is probing the wavefront distortion is realized with the help of a coherent infrared laser beam emanating from the object. After detection of the wavefront distortion by means of a wavefront sensor an adaptive membrane mirror is capable to deflect its surface on more than 50 local positions within a time delay of only a few milliseconds for compensation.

Aufnahme eines Testbildes unter turbulenter Atmosphäre über 130 m Entfernung (adaptive Optik deaktiviert)

Image of a resolution chart taken under atmospheric turbulence along a propagation path of 130 m (adaptive optics inactive)



Korrigiertes Testbild (adaptive Optik aktiviert)

Compensated image of a resolution chart (adaptive optics activated)



Bei Experimenten auf der DLR Freistrahlstrecke (FSS) wurde der Einfluss von volumenverteilter Turbulenz auf die für eine einzelne konjugierte Ebene ausgelegte adaptive Optik näher untersucht. Die Strahlhöhe über dem Untergrund aus Asphalt beträgt knapp 1 Meter. Die Wellenfrontstörungen auf der FSS entsprechen daher denjenigen von Objekten im Abstand von mehreren Kilometern bei horizontaler Beobachtung in größerer Höhe. Die gleichzeitige Aufzeichnung der Turbulenzeigenschaften und Wetterbedingungen ermöglicht eine genaue Analyse der Abbildungsleistung des Teleskops. Weiterführende quantitative Untersuchungen des zeitlichen und räumlichen Verhaltens der Modulationstransferfunktion (MTF) sowie der System begrenzenden Faktoren ergänzen die Bewertung der Turbulenz durch ein Szintillometer.

Die mobile Schmidt-Cassegrain Beobachtungsplattform mit adaptiver Optik konnte erfolgreich ihre Eignung für die Kompensation von lokalen sowie volumenverteilten Turbulenzen sowohl im Labor als auch im Freifeldversuch unter Beweis stellen. Das System besitzt eine Regelbandbreite von ca. 1 kHz und ist mit dem verwendeten adaptiven Membranspiegel in der Lage, Wellenfrontstörungen mit Frequenzen von bis zu 30 Hz auf einen Restfehler von 15 nm zu unterdrücken. Die dargestellten Aufnahmen eines Strichgitters (Resolution Chart, siehe Abbildung links) verdeutlichen die Verbesserung der Abbildungsqualität bei aktivierter adaptiver Optik. Während der Aufnahmen wurden die Turbulenzeigenschaften permanent mitgezeichnet.

Zusätzlich zu den vorgestellten Anwendungen bietet die adaptive Optik ein großes Potenzial im Bereich der Laserstrahlformung. Diese Methode kann u.a. auch für die Abstandsbestimmung von weit entfernten Objekten wie Weltraumschrott eingesetzt werden.

Recently, outdoor experiments were realized on the DLR free space propagation test range to investigate the influence of volume distributed turbulence on the performance of the layer oriented adaptive optics. To cumulate sufficient phase distortion (corresponding to the turbulence conditions of objects at a distance of several kilometers under horizontal observation), the propagation height above ground was set to 1 m at an overall path length of 130 m. Corresponding measurements of turbulence parameters and weather conditions were performed to explain the characteristics and experimental results of the adaptive optics high resolution imaging system. Quantitative measurements of the system limitations and of the modulation transfer function (MTF) complement the validation by means of a scintillometer.

The mobile system with a Schmidt-Cassegrain telescope has successfully demonstrated its ability to compensate for local and distributed turbulence effects in laboratory and atmospheric environments. It has a feedback-loop bandwidth of approx. 1 kHz, and is capable to compensate phase distortions in a conjugated plane at frequencies of up to 30 Hz (as the used membrane mirror has a bandwidth of 300 Hz). Wavefront deformations are compensated down to an error of 15 nm RMS. As can be inferred from the screen shots (see figures on the left), the imaging quality of a resolution chart has been massively improved when activating the adaptive optics unit. During the measurement campaigns turbulence characteristics were permanently recorded.

In addition to the discussed application, adaptive optics technology can be advantageously used in the fields of laser beam control for laser ranging applications (e.g. for distance measurements of space debris).



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Technische Physik

Pfaffenwaldring 38-40

70569 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711 6862-773

Telefax: +49 (0)711 6862-788

www.DLR.de/tp