



3D-PHOTONIK FÜR ASTRONOMISCHE INTERFEROMETRIE

3D PHOTONICS FOR ASTRONOMICAL INTERFEROMETRY

Photonik spielt eine zentrale Rolle in der neuen Generation der boden- und weltall-basierten Instrumente für die Astronomie. Die moderne Photonik erlaubt, Licht auf der mikroskopischen Skala zu manipulieren [1].

Im Besonderen haben Faseroptikkomponenten die Qualität der optischen astronomischen Interferometrie beachtlich verbessert [2]. Dies ist eine Technik, welche durch die interferometrische Kombination von Sternstrahlen, die von mehreren voneinander entfernten Teleskopen zusammengefügt werden, hoch aufgelöste Bilder liefert (Abb. 1).

Mit heutigen Techniken ist die gleichzeitige Kombination von 3 bis 4 Teleskopen möglich. Allerdings würden interferometrische Bilder von besonderen astronomischen Ereignissen, wie exoplanetische Finsternisse oder Strahlungen rund um supermassive Schwarze Löcher, von der gleichzeitigen Kombination von 10 und mehr Teleskopen sehr profitieren.

Photonic technologies play a central role in new-generation ground- and space-based instruments for astronomy, due to their outstanding performance in manipulating light on a microscopic scale [1].

In particular, fiber optics components have considerably improved the quality of optical astronomical interferometry [2], a technique delivering high resolution images through interferometric combination of starlight beams collected by several distant telescopes (Fig. 1).

While simultaneous combination of 3 to 4 telescopes is possible today, interferometric imaging of fast astronomical events such as exoplanet transits or flares around supermassive black holes would greatly benefit from the simultaneous combination of tens of telescopes, as is currently possible in radioastronomy.

1 *Astronomische Interferometer, wie das Very Large Telescope Interferometer (VLTi) in Cerro Paranal in Chile, liefern Bilder mit einer Auflösung eines 100-Meter-Durchmesser-Teleskops, bei Verwendung einer Anzahl kleinerer Teleskope (Durchmesser: 1,8 m oder 8 m).*

1 *Astronomical Interferometers such as the Very Large Telescope Interferometer (VLTi) at Cerro Paranal in Chile deliver images with the resolution of a telescope of 100 meter diameter, by means of a few smaller telescopes (diameters: 1.8 m or 8 m).*

Die existierenden planaren photonischen Schaltungen können jedoch nicht einfach stufenweise bis zur gleichzeitigen Kombination von mehr als 8 Teleskopen gesteigert werden. Dies würde eine komplette dreidimensionale (3D) Schaltungsgeometrie erfordern.

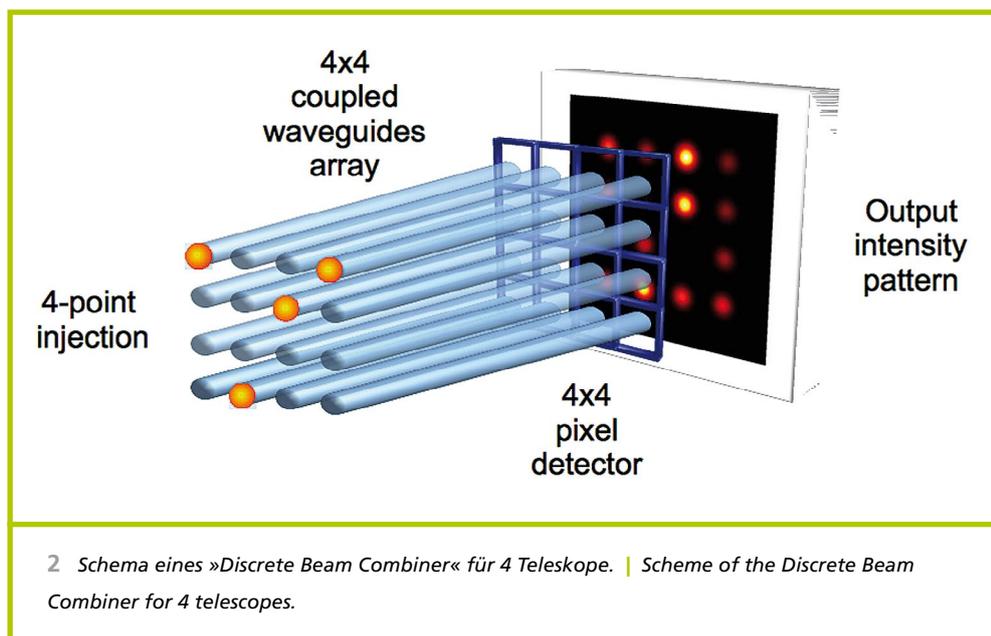
In unserer Arbeit haben wir das Potenzial dreidimensionaler photonischer Komponenten untersucht, um eine Interferometrie-Kombination von vielfachen Strahlen auf einem Chip zu realisieren. Wir konnten demonstrieren, dass eine zweidimensionale Matrix von gekoppelten Wellenleitern geeignet ist, um die wechselseitigen Kohärenzbeziehungen von bis zu vier Feldern annahmefrei zu bestimmen [3]. Das Schema (auch Discrete Beam Combiner – DBC genannt) basiert auf den Eigenschaften der Lichtausbreitung in zweidimensionalen Anordnungen von Wellenleitern (optische Raster). Wegen der evaneszenten Feldkopplung verteilt sich das Licht, das in die Wellenleiter des Gitters eingekoppelt wurde, in die benachbarten Wellenleiter. Dieser Effekt kann mit dem Formalismus der diskreten Beugung beschrieben werden [4]. Wenn ausgesuchte Positionen des Arrays simultan angeregt werden, führt die interferometrische Überlagerung der Eingangssignale zu einer bestimmten Intensitätsverteilung am Ausgang, welche einzig mit dem wechselseitigen Zusammenhang der Kohärenzeigenschaften des eingekoppelten Lichts in Verbindung gebracht werden kann. Im DBC (Abb. 2) wird das Licht, das von bis zu vier Teleskopen eines astronomischen Interferometers gesammelt wird, eingekoppelt und in einem optischen Wellenleiterarray mit 16 Positionen kombiniert. Dies erlaubt eine akkurate Rekonstruktion der Kohärenzparameter für alle möglichen Kombinationen der eingekoppelten Felder.

However, existing planar photonic circuits cannot be easily scaled up to simultaneous combination of more than 8 telescopes, which would require full three-dimensional (3D) circuit geometry.

In our work, we investigated the potential of 3D photonic components to deliver scalable interferometric combination of multiple beams on a single chip. We found numerically that even a simple two-dimensional array of coupled waveguides can be used to uniquely determine the mutual coherence properties for up to four, suitably injected fields [3]. The scheme (named Discrete Beam Combiner, or DBC) is based on the properties of light propagating in two-dimensional arrays of waveguides (optical lattices). Because of the evanescent field coupling, light injected in a waveguide of the lattice will leak to the neighboring waveguides (sites). This effect can be described with the formalism of discrete diffraction [4]. If selected sites of the array are excited simultaneously, interferometric mixing of the input signals will occur upon propagation and generate an output intensity pattern which can be uniquely related to the mutual coherence properties of the injected light. In DBCs (Fig. 2), the light collected by the 4 telescopes of an astronomical interferometer is injected and combined in an optical lattice featuring 16 sites, thus allowing the accurate retrieval of the coherence parameters for all possible combinations of the injected fields.

Wenn man das von uns vorgeschlagene Schema mit bisherigen Strahlenkombinierern vergleicht, so verteilt der DBC Licht über einem minimalen Set von Pixeln, was potenziell die Beobachtung von sehr lichtschwachen Objekten gestattet. Der DBC besitzt die Vorteile der integrierten photonischen Strahlenkombination (z. B. thermomechanische Stabilität) und ist bisherigen Ansätzen in Bezug auf die Verwertung der Messbarkeit von Interferometer-Kombinationen einer großen Zahl von Teleskopen überlegen. Dabei nutzt der DBC das Potenzial der 3D-integrierten Photonik vollständig aus und zeigt eine Strategie für die Kombination einer willkürlichen Zahl von Teleskopen auf.

As compared to other beam combiners, the DBC distributes light over a minimal set of pixels, thus potentially enabling the observation of fainter targets than possible today. The DBC shares the advantages of integrated photonic beam combiners (i. e. thermo-mechanical stability) but is superior in terms of scalability to interferometric combination of a large number of telescopes. In fact, the DBC fully exploits the potential of 3D integrated photonics, allowing a straightforward roadmap for the combination of an arbitrary number of telescopes.



Aktuell untersuchen wir experimentell das DBC-Schema mit lasergeschriebenen Quadratrastern von Wellenleitern [5] und berechnen den Einfluss unterschiedlicher Gittergeometrien sowie verschiedener technologischer Realisierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Einführung des DBCs in reale astronomische Geräte.

We are currently testing the DBC scheme experimentally on laser-written square arrays of waveguides [5] and evaluating the impact on performance of different lattice geometries and technological platforms, in view of the implementation of DBCs in real astronomical instruments.

Literatur/References

- [1] Bland-Hawthorn, J.; Kern, P.: Astrophotonics: a new era for astronomical instruments, *Opt. Exp.* 17, 1880 (2009).
- [2] Berger, J. P.; et al.: Integrated optics for astronomical interferometry – IV. First measurements of stars, *A&A* 376, L31 (2001).
- [3] Minardi, S.; Pertsch, T.: Interferometric beam combination with discrete optics, *Opt. Lett.* 35, 3009 (2010).
- [4] Lederer, F.; et al.: Discrete solitons in optics, *Phys. Rep.* 463, 1 (2008).
- [5] Pertsch, T.; et al.: Discrete diffraction in two-dimensional arrays of coupled waveguides in silica, *Opt. Lett.* 29, 468 (2004).

AUTHORS

*Stefano Minardi*¹

*Thomas Pertsch*¹

¹ *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

CONTACT

Dr. Stefano Minardi

Phone: +49 3641 947-848

stefano.minardi@uni-jena.de

Prof. Dr. Thomas Pertsch

Phone: +49 3641 947-840

thomas.pertsch@uni-jena.de