

Im 6G-Netz sind die Funkzellen an den Straßenlampen (orange) über Punkt-zu-Punkt-Strecken (grün) miteinander verbunden.

Rekord-Datenrate für 6G

Ein vereinfachter Empfänger schafft im THz-Bereich eine Datenübertragung von 115 Gbit/s über 110 Meter.

Schon jetzt zeichnen sich bei der Mobilfunkgeneration 6G bestimmte Eckpfeiler ab, obwohl die Technologie noch nicht standardisiert ist. So werden die Funkzellen nur wenige zehn Meter groß sein. Dadurch lassen sich im verfügbaren Frequenzspektrum zeitgleich sehr viele Endgeräte breitbandig anbinden und die Latenzzeiten minimieren. Die Funkzellen werden drahtlos über leistungsfähige Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zu einem redundanten Netzwerk zusammengeschlossen – mit Übertragungskapazitäten von mindestens 100 Gbit/s. Die Punkt-zu-Punkt-Verbindungen nutzen im Idealfall den weitgehend ungenutzten Frequenzbereich oberhalb von 0,1 THz. Dort ist die atmosphärische Dämpfung gering.

Doch THz-Empfänger, die Phase und Amplitude des modulierten Trägersignals erfassen, sind komplex und teuer. Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben nun einen THz-Empfänger stark vereinfacht.¹⁾ Dazu übertrugen sie das

Prinzip der Kramer-Kronig-Relation in den THz-Bereich. Diese Relation erlaubt es, die Phase eines komplexen Signals aus der gemessenen Amplitude zu berechnen.

Das KIT-Team verwendete eine Schottky-Diode als Empfänger, die Rekonstruktion der Phase erfolgte mit einem Algorithmus, der digitale Signalprozessoren ausnutzte. Mit einer Quadraturamplitudenmodulation, wie sie auch für digitalen terrestrischen Rundfunk genutzt wird, erreichten die Projektbeteiligten eine Nettodatenrate von 115 Gbit/s bei 0,3 THz Trägerfrequenz über eine Distanz von 110 m – ein Rekord bei Entfernungen von mehr als 100 m.

Flaches Fisheye

Eine Metalinse bildet mehr als 170 Grad Gesichtsfeld beugungsbegrenzt ab.

Fischaugenobjektive projizieren eine Halbkugel mit deutlicher Verzeichnung auf die Bildebene. Bei solch extremen Weitwinkeloptiken gilt es, Abbildungsfehler von schräg zur Bildebene einfallenden Lichtstrahlen (Koma, Astigmatismus und Bildfeldkrümmung) zu korrigieren. Das erfordert aufwändige mehrlinsige Objektive, die teuer, schwer und ausladend sind. Ein Forschungsteam des Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, und der University of

Massachusetts in Lowell hat nun eine Metalinse angefertigt, die bei einem Gesichtsfeld von mehr als 170° eine beugungsbegrenzte Abbildung auf einer planen Bildebene erreicht.²⁾

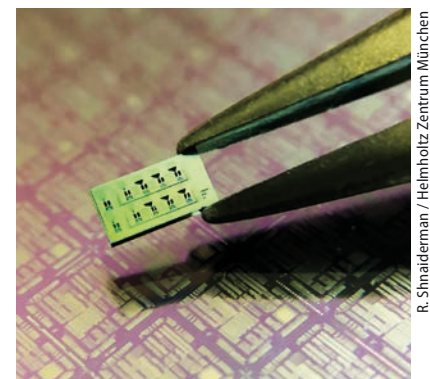
Die Optik ist auf 5,2 μm Wellenlänge ausgelegt, aber das Prinzip ist auf sichtbares Licht übertragbar. Die Frontseite besteht aus einem planparallelen, zwei Millimeter dicken Calciumfluoridsubstrat, auf dessen Rückseite die eigentliche Metaoberfläche per Elektronenstrahl-Lithografie aufgebracht wurde. Diese setzt sich aus 2000 \times 2000 subwellenlängen-großen Strukturen aus Bleitellurid zusammen, die auf einer 5,2 \times 5,2 mm^2 großen Fläche mit einer quadratischen Gitterkonstante von 2,5 μm angeordnet sind.

Für die Metalinse nutzt das Team acht Strukturtypen, welche die Phase zwischen 0° und 360° um jeweils 45° drehen. Die Metaoberfläche hat eine konstante Brennweite von 2 mm bzw. eine numerische Apertur von 0,24, bei einer Blende vor dem Substrat von einem Millimeter Durchmesser. Anwendungen finden sich in der Bildgebung oder bei Augmented Reality.

Klein und hochauflösend

Ein neuer Ansatz ermöglicht chipintegrierte optische Ultraschalldetektoren mit deutlich höherer Auflösung.

Medizinische und industrielle Ultraschallbildgebung beruhen meist auf piezoelektrischen Detektoren. Doch um die Auflösung der Transducer zu



Auf einem knapp 20 mm^2 großen Chip finden mehrere Detektoren Platz. Zu sehen sind hier aber nur die (dunklen) optischen Schaltkreise.

1) T. Harter et al., Nat. Photonics (2020), DOI: 10.1038/s41566-020-0675-0

2) M. Y. Shalaginov et al., Nano Lett. (2020), DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02783

3) R. Shnaiderman et al., Nature **585**, 372 (2020)

OPTIK IST UNSERE ZUKUNFT™

steigern, muss man sie verkleinern – und dabei sinkt ihre Empfindlichkeit quadratisch. Ansätze, die den fotoakustischen Effekt für die Ultraschalldetektion ausnutzen, sind zwar eine Alternative, haben aber letztlich ein ähnliches Problem. Wissenschaftler der TU München und des Helmholtz Zentrums München haben nun einen Ansatz gewählt, der nicht diesen Beschränkungen unterliegt und sich für eine Massenfertigung eignet.³⁾

Mittels Silicon-on-Insulator-Technologie stellten sie einen chipbasierten fotoakustischen Detektor mit einer empfindlichen Fläche von $220 \times 500 \text{ nm}^2$ her. Im Kern handelt es sich um einen Wellenleiter mit Spiegeln aus Bragg-Gittern an den Stirnseiten, dazwischen eine Kavität. Das Team fertigte mit leicht variierten Parametern vier Chips, von denen jeder acht Detektoren trägt. Um Ultraschallwellen zu messen, pumpt ein Laser kontinuierlich Licht in die Kavität. Das durch die Schallwellen modulierte Licht gelangt auf eine Fotodiode.

Die Flächenempfindlichkeit ist hierbei tausendmal höher als bei optischen Mikroring-Resonatoren und 100 Millionen Mal höher als die von piezoelektrischen Transducern. Die Bandbreite des Münchner Ansatzes betrug bis zu 230 MHz bei -6 dB . Der Detektor bildete Strukturen ab, die 50-mal kleiner als die Wellenlänge der Schallwellen waren. Möglich sind auch Arrays mit einer um zwei Größenordnungen höheren Dichte verglichen mit bisherigen Ansätzen.

Hilfe für Verschüttete

Kompakte Radargeräte lokalisieren Verunglückte und erfassen ihre Vitalparameter.

Werden Menschen verschüttet, gilt es, sie möglichst rasch zu bergen. Um jemanden zum Beispiel in einem eingestürzten Gebäude zu lokalisieren, nutzen Rettungskräfte auch Radargeräte. Diese arbeiten meist bei einer Frequenz von 1,3 GHz und ermitteln in einem Umkreis von 20 bis 30 Metern, in welcher Richtung Verschüttete liegen. Die Entfernung bleibt unbestimmt. Wenn jemand

unter meterhohem Schutt liegt oder der Boden feucht ist, erschwert das die Detektion. Daher sind verbesserte Radarsysteme wichtig. Forschende des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg haben verschiedene Verfahren weiterentwickelt.

Grundsätzlich haben hohe Radarfrequenzen den Vorteil, dass sich eine Person genauer lokalisieren lässt und das Gerät kleiner und leichter ausfallen kann. Leider durchdringen die Wellen mit steigender Frequenz Gestein und Beton schlechter. Zusammen mit dem THW entwickelt das FHR-Team Technologien, die bei 10 GHz wenigstens einen Meter Stahlbetondecke passieren und trotzdem Personen sicher erfassen und lokalisieren. Tests bei 1,3 GHz waren bereits erfolgreich.

Zudem gelang es, Pulsschlag und Atembewegungen mehrerer Personen gleichzeitig zu detektieren, wenn Sender oder Objekt in Bewegung sind – bei 120 und 24 GHz. Um Puls und Atmung voneinander, aber auch von Störsignalen zu unterscheiden, lassen sich ihre charakteristischen Wiederholraten und Amplituden ausnutzen.

Ultimatives Ziel wäre ein leichtes und damit drohntaugliches Radargerät mit möglichst hoher Arbeitsfrequenz. So ließen sich in hektargroßen Arealen rasch Verletzte lokalisieren.

Michael Vogel



P. Weillrath / Fraunhofer FHR

Die Erfassung von Vitalparametern von Personen in Bewegung ist am FHR gelungen.



NEU

TECHSPEC®

Neue hochdispersive Ultrakurzpulsspiegel

- Reflexionsvermögen $> 99,9\%$ im Design-Wellenlängenbereich
- Breiter Reflexionsbereich
- Stark negative Dispersion

Die neuen hochdispersiven Ultrakurzpulsspiegel von Edmund Optics® sind ideal für die Pulskompression und Dispersionskompensation.

Mehr dazu erfahren Sie unter:
[www.edmundoptics.de/
ultrafast](http://www.edmundoptics.de/ultrafast)

+49 (0) 6131 5700-0
sales@edmundoptics.de

 **Edmund**
optics | worldwide