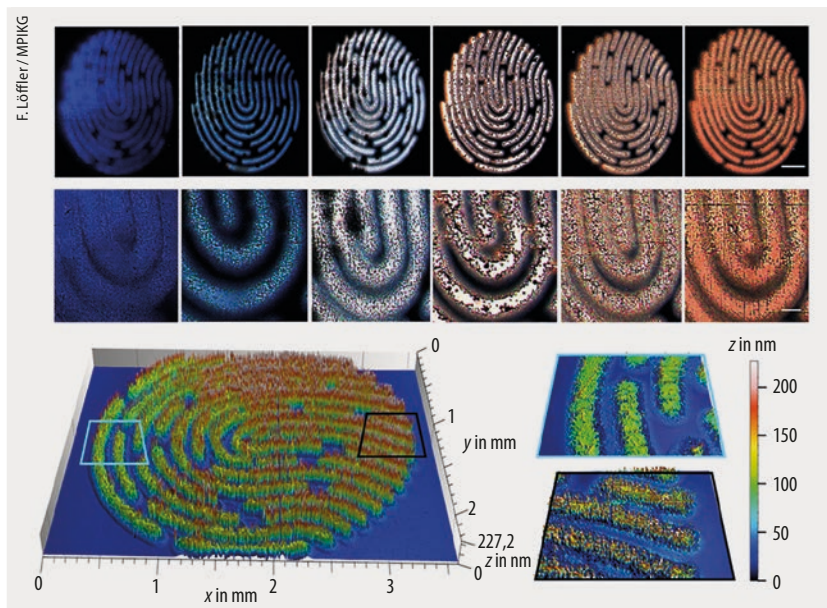




Künstlich hergestellte Fingerabdrücke zeigen fälschungssichere Mikro- und Nanostrukturen.

Schutz vor Fälschungen

Laser-nanogedruckte Fluoreszenzmarkierungen sind dank ihres Zufallscharakters nicht kopierbar.

Produktfälschungen gelten weltweit als großes Problem. Allein für die europäische Pharmaindustrie beziffert die EU die Umsatzeinbußen auf 9,6 Milliarden Euro jährlich. Ein Ansatz für den Fälschungsschutz sind fluoreszente Markierungen. Allerdings sind die verwendeten Materialien teils toxisch. Oft lässt sich zudem die zugrundeliegende fluoreszierende Verbindung identifizieren und nachbilden. Ein Team des Potsdamer Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung hat nun ein Verfahren zur Herstellung fälschungssicherer Merkmale entwickelt, das diese Probleme nicht hat.¹⁾ Beteiligt war auch das Karlsruher Institut für Technologie.

Das Team erzeugte dazu mittels Laser-Nanodruck fluoreszierende Kohlenstoff-Quantenpunkte aus einer Monosaccharid-Lösung, die zuvor per Spin-Coating auf ein Substrat aufgetragen wurde. Entscheidend ist dabei der gezielte und extrem kurze Energieeintrag, damit keine Kohlenstoffflocken an der Oberfläche auftreten. Lokal betragen die Temperaturen beim Laser-Nanodruck über 500 °C. Abhängig von den Laserparametern entstanden so gezielt makroskopische

Muster mit völlig zufälligen Mikro- und Nanostrukturen.

Der Zufallscharakter der Schichten kann beim Fälschungsschutz helfen. Die Muster sind per Weißlichtinterferometrie auslesbar, um die Topografie zu erfassen, oder per Fluoreszenzscan. Die Forschenden erstellten eine Nanoschicht-Bibliothek mit rund 2000 Mustern, mit der sich auf einer Fläche aus 325×325 Pixel, also einem Quadratmillimeter, $10^{63.593}$ Varianten erzeugen lassen. Erste Untersuchungen zur Langzeitstabilität waren positiv; das Verfahren wurde patentiert. Ein Modell für das maschinelle Lernen der Mustererkennung ist Open-Source verfügbar.

Lidar für Wärmestrahlung

Ein abbildendes System erfasst seine Umgebung dreidimensional anhand der thermischen Strahlung.

Autonome Maschinen müssen ihre Umgebung zuverlässig erfassen. Hierfür kommen sowohl passive Verfahren zum Einsatz, maßgeblich (Stereo-) Kameras, als auch aktive, etwa Lidar oder Radar. Keines der Verfahren ist bislang in allen denkbaren Szenarien für sich allein zuverlässig genug. Ein Team der Purdue University und der Michigan State University hat ein Verfahren demonstriert, das die Umge-

bung mittels thermischer Strahlung erfasst.²⁾

Einige Ansätze nutzen bereits thermische Strahlung für die Entfernungsbestimmung. Allerdings arbeiten sie unbefriedigend, weil sich in jeder Bildszene die direkt emittierte Wärmestrahlung der Objekte mit der von anderen Objekten gestreuten Wärmestrahlung überlagert. Dadurch lassen sich die Beiträge von Temperatur, Emissivität und Textur der Objekte nicht mehr trennen. Das Problem ist als Ghosting bekannt.

Das US-Team hat ein Verfahren entwickelt, um die Eigenschaften der Objekte mit einem neuronalen Netz und einer Materialbibliothek zu rekonstruieren. Für die Bibliothek sind spezifische Daten und eine Kalibration erforderlich. In Anlehnung an RGB-Bilder entstehen bei diesem Heat-Assisted Detection And Ranging (HADAR) Temperatur-Emissivitäts-Textur-Bilder. Die damit nachts gewonnenen Bilder erreichen eine Genauigkeit ähnlich der von RGB-Stereobildern bei Tage. Die Aufnahme eines Bildes dauert eine Sekunde, was für viele Anwendungen zu lang ist.

Radiologie mit Intervention

Ein tragbarer Scanner mit sehr großem Gesichtsfeld ermöglicht endovaskuläre Eingriffe in Echtzeit.

Die Magnetpartikelbildgebung (MPI) nutzt Magnetfelder, um die räumliche Verteilung von Tracern zu erfassen, die magnetische Nanopartikel enthalten. Diese Partikel liefern ein nicht-lineares Signal als Antwort auf die zeitlich veränderlichen Magnetfelder. Anders als diverse bildgebende Verfahren kommt die MPI ohne ionisie-



Der MPI-Scanner ist relativ leicht und lässt sich am Oberschenkel anbringen.

rende Strahlung aus. Doch obwohl es bereits seit 20 Jahren Demonstratoren gibt, ist der Schritt zur klinischen Anwendung groß: Zu sperrig, sehr kleine Gesichtsfelder oder geringe räumliche Auflösung sind die Probleme.

Ein Team der Universität Würzburg und der dortigen Universitätsmedizin hat nun einen Demonstrator entwickelt, der auf die interventionelle Radiologie abzielt. Dort erfolgen Eingriffe an den Gefäßen unter Bildgebung, etwa das Setzen von Stents. Der neue Scanner wiegt nur 10 kg und ermöglicht bei Echtzeitbildgebung mit seinem großen Gesichtsfeld die Behandlung eines Oberschenkels.³⁾

Die Hardware besteht aus zwei Sattelspulen, die mit Frequenzen von 60 Hz und 90° Phasenverschiebung angesteuert werden: Sie erzeugen eine entlang der Symmetrieachse des Scanners feldfreie Linie. Zwei Helmholtz-Spulen verschieben diese Linie in der lateralen Ebene, wozu sie mit 2480 Hz angesteuert werden. Die feldfreie Linie wandert so auf einer sinusförmigen Bahn durch das Gesichtsfeld und erzeugt 2D-Projektionen, aus denen sich 3D-Bilder rekonstruieren lassen. Die Frame-Rate beträgt maximal 8 Hz, bei den Tests waren es 4 Hz.

Zur Demonstration nahm der MPI-Scanner Bilder von Gefäßphantomen und OP-Instrumenten auf. Zudem kombinierte das Team den MPI-Scanner mit einem etablierten Röntgengerät für die Gefäßdarstellung.

Flammen räumlich betrachtet

Ein geschickter Aufbau erfasst Verbrennungsvorgänge dreidimensional und zeitlich hochaufgelöst.

Die optische Analyse von Verbrennungsvorgängen liefert Erkenntnisse über deren Effizienz, die Emission von Schadstoffen und das Verhalten der Flammen. Dafür hat sich die Schlierentechnik etabliert, die auf der Messung des örtlich schwan-

kenden Brechungsindex eines Fluids beruht. Gerade bei turbulenten Verbrennungsvorgängen ist eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung wünschenswert, am besten in 3D. Das geht jedoch nur mit Kompromissen: bei der zeitlichen oder räumlichen Auflösung, in der Echtzeitfähigkeit oder wenn das untersuchte Fluid geringe Druck-, Dichte- oder Temperaturgradienten hat. Nicht zuletzt steigt die Komplexität des Systems rasch. Forschende der Northwestern Polytechnical University in Xi'an und der Shanghai Jiao Tong University haben ein System entwickelt, das viele dieser Nachteile nicht hat.⁴⁾

Sie erweitern dazu die Schlierentechnik um abbildende Lichtleiter und ein tomografisches Verfahren. Sieben Lichtleiter sind hierbei halbkreisförmig in einer Ebene um die Flamme



Q. Lei / Northwestern Polytechnic Univ.

Der Aufbau besteht aus sieben Lichtleitern, einer Kamera und zwei Xenon-Lampen.

angeordnet. Jeder Lichtleiter besteht aus 90 000 Monomode-Fasern; jede Faser erfasst eine projizierte Fläche von $0,128 \times 0,128 \text{ mm}^2$. Eine Kamera nimmt die Schlierenbilder aller Lichtleiter auf einen Schlag auf. Ihre Bildwiederholrate liegt jenseits von 10 kHz. Den Lichtleitern gegenüber stehen zwei Xenon-Lampen, die das $38 \times 38 \times 38 \text{ mm}^3$ große Gesichtsfeld ausleuchten.

Anhand einer laminar brennenden Flamme eines bekannten Gasgemischs hat das Team sein System validiert. Die gemessene Temperatur weicht um 4 Prozent von der Anzeige eines Thermoelements ab. Messungen an turbulenten Flammen und an Zündvorgängen ergaben, dass das System Feinstruktur und Frontgeschwindigkeit der Flammen erfassen kann.

Michael Vogel

MID-IR Spektrometer



- Wellenlänge: 1.5 ... 6.3 μm
- Spektrale Auflösung: 3 nm
- Faser - und Freistrahleingang
- Kompaktes, robustes Design
- Kostengünstige Alternative zu FTIR




www.a-pe-berlin.de

1) J. Zhang et al., Nat. Nanotechnol. (2023), doi:10.1038/s41565-023-01405-3

2) F. Bao et al., Nature **619**, 743 (2023)

3) P. Vogel et al., Sci. Rep. **13**, 10472 (2023)

4) X. Li et al., Opt. Lett. **48**, 4081 (2023)