

Elektromyographische Sensoren lassen sich mit Papier und Bleistift in erstaunlicher Qualität fertigen. Das Inset zeigt den Sensor ohne Papiersubstrat und Kontaktierung.

Elektronik zeichnen

Medizinische Messtechnik lässt sich mit Papier und Bleistift herstellen. Elektronik, die direkt auf der Haut haftet, gilt als Zukunftsfeld der Medizintechnik. Sie basiert häufig auf Polymersubstraten, die mit anorganischen, organischen oder Nanomaterialien strukturiert werden. Ein US-Forschungsteam hat nun gezeigt, dass sich auch mit Papier und Bleistift eine extrem kostengünstige, umweltverträgliche Einmal-Elektronik herstellen lässt.¹⁾ An dem Projekt beteiligt waren die Universitäten von Missouri (Columbia), Illinois (Chicago), Urbana-Champaign (Urbana) und Yale (New Haven).

Das Team nutzte Bleistifte der Härte 9B (93 Gewichtsprozent Graphitanteil) und gewöhnliches Papier, das etwa zwei bis drei Größenordnungen billiger ist als gängige Polymersubstrate. Für eine bessere Haftung auf der Haut sorgten in den ungenutzten Papierbereichen Schnitte gemäß der Kirigami-Falttechnik und eine dünne Schicht medizinischer Klebstoff. Mit dieser Technik entstanden Sensoren, um Hauttemperatur und Biopotenziale zu messen, biochemische Sensoren für den Schweiß, Stimulatoren zur Wärmebehandlung, Energieerzeuger, steuerbare Medikamentendepots und Antennen. Die Signal-

qualität der biophysikalischen und biochemischen Sensoren war mit der von konventionellen Sensoren vergleichbar. Der Energieerzeuger lieferte zwei Stunden lang eine Spannung zwischen 200 mV und 480 mV.

Der Ansatz soll etablierte Verfahren ergänzen, zum Beispiel für Schulungen, die personalisierte Medizin oder bei begrenzten Ressourcen.

Optimierte Inspektion

Ein Laserscanner erfasst in Tunnels Geometrie, Struktur und Feuchte. Tunnel werden regelmäßig auf Schäden untersucht, heute meist mit 3D-Laserscannern und visuell. Die Daten lassen sich nur bedingt automatisiert verarbeiten. Ein europäisches Forschungsteam hat nun einen Laserscanner entwickelt, der georeferenzierte Daten liefert und eine höhere Automatisierung ermöglicht. Beteiligt waren das Fraunhofer-Institut



Der multispektrale Laserscanner ist auf raue Umgebungsbedingungen ausgelegt.

für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg, die Schweizer Amberg Technologies AG, die deutsche AKG Software Consulting GmbH und die spanische Elaborarium SL.

Der Scanner erfasst gleichzeitig Geometrie, Struktur und Feuchte und setzt zwei Millionen Messpunkte pro Sekunde. Dazu beschreibt der Messstrahl 200-mal pro Sekunde einen Kreis vertikal zur Bewegungsrichtung liegt. Mit dem hochfrequent modulierten Messstrahl ermittelt das System die Lichtlaufzeit aus der Phasenverschiebung zwischen Sendee- und Empfangssignal. Zwei augensichere Laser mit Wellenlängen von 1320 nm bzw. 1450 nm kommen zum Einsatz. Für die Geometrie- und Strukturmessung wäre ein Laser ausreichend, aber nicht für die zeitgleiche Feuchtemessung. Die Wellenlängen entsprechen einem lokalen Absorptionsmaximum des Wassers und einem lokalen Minimum, sodass die Differenz der Intensitäten die Feuchte ergibt. Das Messsystem erreicht eine Tiefenaufklärung im Millimeterbereich. Die Scannerfrequenz begrenzt die laterale Auflösung. Für eine Auflösung im Millimeterbereich müsste sich der Wagen sehr langsam bewegen, um Struktur und Geometrie korrekt zu erfassen. Großflächige Wassereintritte erlauben dagegen bei der Feuchtebestimmung bis zu 80 km/h.

Das System ist bereits in Tunnels erprobt. Es bietet sich zudem an, um die Vegetation entlang von Schienen und Straßen automatisiert zu erfassen.

Zeit- statt Ortsinformation

Allein aus dem zeitlichen Eintreffen von Photonen auf einem Sensor sind 3D-Bilder rekonstruierbar.

3D-Bilder lassen sich stereoskopisch, holografisch oder mit einer Time-of-Flight-Kamera anfertigen. Diese Verfahren nutzen räumliche Informationen aus, am häufigsten durch einen Flächensensor oder mit strukturiertem Licht. Ein Team der Universität Glasgow, des Polytechnikums Mailand und der TU Delft hat dagegen 3D-Bilder allein aus zeitlichen Informationen erzeugt – mithilfe des

1) Y. Xu et al., PNAS (2020), doi:10.1073/pnas.2008422117

2) A. Turpin et al., Optica 7, 900 (2020)

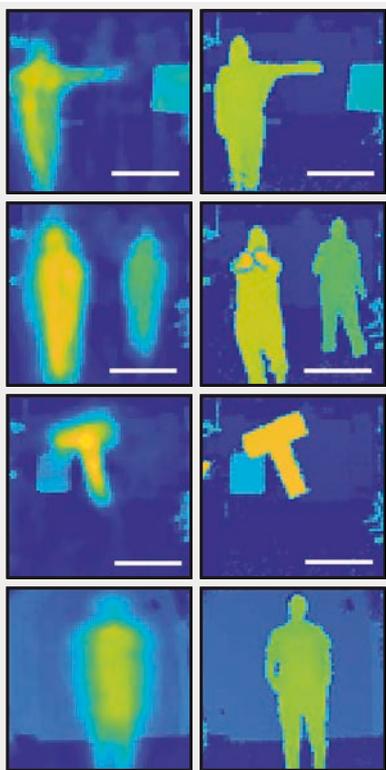
Eintreffens der reflektierten Photonen auf einer Ein-Pixel-Kamera.²⁾

Als empfindlicher Sensor dient eine Einzelphotonenlawinendiode (SPAD). Sie erfasst über eine Optik mit 30° Apertur die Photonen, die von der aufgenommenen Szene reflektiert werden. Motive waren Menschen und Gegenstände, deren Positionen sich in einem Raum mit vier Metern Tiefe veränderten. Beleuchtet wurde das Szenario mit 75 Pikosekunden kurzen grünen Laserblitzen.

Daraus ergibt sich ein Histogramm des zeitlichen Eintreffens der Photonen, das die Rekonstruktion des räumlichen Bilds erlaubt. Die mathematisch hochgradig unterbestimmte Aufgabe lässt sich mittels Maschinellem Lernen lösen. Referenzaufnahmen trainierten den Algorithmus, der anschließend die 3D-Informationen neuer Szenen mit einer Rate von zehn Bildern pro Sekunde rekonstruierte.

Das Verfahren funktioniert im gesamten elektromagnetischen Spektrum und mit Schallwellen, wie mit einem Radar-Transceiver bei 7,29 GHz gezeigt. Der Ansatz könnte das autonome Fahren unterstützen.

A. Turpin et al.



Bilder, rekonstruiert mittels Maschinellem Lernen (links), vermitteln eine korrekte, aber reduzierte Information. Das belegen die Referenzbilder (rechts).

Fluoreszenzmessung im Miniformat

Trotz hoher Empfindlichkeit ist ein Fluorimeter kompakt und kostengünstig.

Fluoreszenzmessungen sind für Anwendungen in Medizintechnik und Analytik wichtig oder um Plagiate zu erkennen. Häufig kommt es nicht auf den Platz an, den ein Fluorimeter beansprucht. Doch wenn es gilt, Glukosewerte körpernah und mobil zu überwachen, bekommen Gewicht und Volumen einen sehr hohen Stellenwert. Ein Team des Erfurter CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik hat nun ein stark miniaturisiertes, kostengünstiges Fluorimeter entwickelt – in der Größe eines Stücks Würfelzucker.

Das Fluorimeter besteht aus Detektions- und Beleuchtungseinheit. Letztere ist im Wesentlichen eine LED. Ihr Licht fällt über einen Strahlteiler in eine Sensorfaser, an deren Ende zwei Fluoreszenzfarbstoffe platziert sind. Einer dient der Glukosemessung, der andere liefert das Referenzsignal für das relevante Signalverhältnis. Über Faser und Strahlteiler trifft das Fluoreszenzlicht auf die Detektionseinheit. Ein zweiter, nur 9 mm³ großer Strahlteiler leitet das detektierte Licht zu den Sensoren von Referenz- und Signalkanal.

In dem kompakten System ist die Unterdrückung des Streulichts besonders kritisch, das durch nicht parallele Strahlen der Anregungsquelle entsteht. In größeren Systemen dient dazu ein Laser; beim CiS-Fluorimeter gilt es, die entsprechenden Anteile des LED-Lichts möglichst gut von den Detektoren fernzuhalten. Hierfür sorgen ein dichroitisches Schichtsystem auf dem Strahlteiler und ein mikrostrukturierter winkelselektiver Filter. Alle Herstellungsschritte sind massenfertigungstauglich.

Bei einer Anregungswellenlänge von 585 nm und einer optischen Leistung von 160 µW kann das Fluorimeter mit einer Abtastrate von 0,5 Hz Fluoreszenzlicht mit etwa 50 pW nachweisen. Solche Werte erreichen für gewöhnlich nur sehr viel größere Geräte.

Michael Vogel

VAT

PASSION. PRECISION. PURITY.



RELIABLE UNDER ALL CONDITIONS.

Heading into the unknown to open new horizons demands reliable tools. Help turn your research goals into reality. Vacuum valve solutions and bellows from VAT provide unfailing reliability and enhanced process safety – under all conditions.

