

■ Optimal streuen

Ein optischer Sensor erlaubt es, die Salzbedeckung von Straßen in Echtzeit zu messen.

Winterräumdienste sorgen mit Streusalz dafür, dass sich Straßen leichter von Eis und Schnee befreien lassen oder dass sie länger schnee- und eisfrei bleiben. Streusalz ist billig, aber die Schäden durch Korrosion an den Fahrzeugen und in der Umwelt sind beträchtlich. Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass die Gesamtkosten mindestens viermal höher liegen als die direkten Kosten. Daher gibt es ein Interesse daran, nur so viel Salz wie nötig zu streuen.



Mit Hilfe eines optischen Sensors könnten Räumfahrzeuge das Salzstreuen optimieren.

en. Forscher der Universität Carlos III in Madrid haben nun das Labormuster eines Sensors entwickelt, mit dem sich die Salzbedeckung von trockenen oder nassen Straßen optisch in Echtzeit erfassen lässt.¹⁾

Der Sensor nutzt aus, dass Natriumchlorid sich aufgrund von Verunreinigungen und Gitterfehlern mit Ultraviolettlicht zum Fluoreszieren bringen lässt. Eine Anregung bei einer Wellenlänge von 270 nm erzeugt Fluoreszenzsignale bei 310 nm und 610 nm. Die Forscher regen das Salz mit einer UV-Leuchtdiode an und erfassen das Fluoreszenzsignal im roten Spektralbereich mit einem 13 mm² großen Siliziumdetektor. Um das System einfach, robust und billig zu halten, hat es keine Linsen.

Beim Labormuster beträgt der Abstand zwischen Detektor und zu vermessender Oberfläche 3 cm, die erfasste Messfläche hat einen Durchmesser von 6 cm. In dieser Anordnung weist der Sensor einen

relativen Messfehler von zehn Prozent auf und kann ausreichend genau Konzentrationen von weniger als 20 g/m² erfassen, wie sie bei den Winterdiensten auftreten. Für einen praxistauglichen Prototyp muss der Abstand zwischen Straße und Sensor jedoch einen knappen halben Meter betragen und die Messfläche muss größer sein. Hierfür sind eine oder mehrere leistungsfähigere Strahlungsquellen sowie ein Detektor-Array erforderlich. Auch das optische Fenster und die Kapselung des Sensors ist mit Blick auf die rauen Umgebungsbedingungen noch eine ungelöste Aufgabe.

■ Elektronik wie gemalt

Leiterbahnen aus Kupferplättchen lassen sich wie Tinte mit einem Stift auftragen.

Die flexible Elektronik gilt als Forschungsfeld mit großem Marktpotenzial, denn dank vergleichsweise geringer Kosten lassen sich mit ihr neue Anwendungen verwirklichen. Der Schwerpunkt bei der Entwicklung geeigneter Fertigungstechniken liegt bislang auf Druck- oder Lithografieverfahren, die technisch durchaus aufwändig sind. Daher untersuchen Forscher – gerade für Leiterbahnen – auch die Möglichkeit, leitfähige Materialien wie gewöhnliche Tinte aufzumalen. Wissenschaftler der Sci-Tech University in Hangzhou, der University of Science and Technology Beijing und der australischen Monash University haben nun gemeinsam eine solche leitfähige Tinte entwickelt, die auf Kupfer beruht und sich mechanisch als sehr robust erweist.²⁾



Mit der kupferplättchenhaltigen Tinte kann man schreiben und funktionsfähige Leiterbahnen aufmalen.

Sie erzeugen zunächst dünne, große Kupferplättchen, die sich in einem Selbstorganisationsprozess aus Kupfernanokristallen bilden. Diese Plättchen sind nur wenige Nanometer dick, aber zwischen 30 und 100 Mikrometer groß. Aus den getrockneten Kupferplättchen mischen die Forscher dann mit Hilfe von Wasser, Methanol und Zellulose eine Tinte. Sie lässt sich mit einem Stift wie gewöhnliche Schreibfarbe zu Papier bringen. Nach tausendmaligem Falten des Papiers sank die Leitfähigkeit der getrockneten Leiterbahnen höchstens auf 80 Prozent des Ausgangswertes. Da die Kupferplättchen sich nach dem Trocknen der Tinte parallel in gegeneinander versetzten Schichten anordnen, bleibt ihre physische Verbindung viel besser erhalten, als dies zum Beispiel mit Partikeln möglich ist. Die Forscher zeigten darüber hinaus, dass durch eine Silberbeschichtung der oxidationsanfälligen Kupferplättchen die Leitfähigkeit der Tintenbahnen auch bei hohen Temperaturen erhalten bleibt, weil die Silberpartikel die Lücken zwischen den Kupferplättchen ausfüllen.

■ Gezielt schauen

Ein mikroelektromechanisches Scannersystem kann das menschliche Erkennen von Objekten nachempfinden.

In der Robotik spielt die Umgebungserkennung eine zentrale Rolle: Ein autonomer Roboter muss gezielt navigieren und greifen, ein Überwachungsroboter Veränderungen in seinem Umfeld registrieren können. Um die Szenerie hochaufgelöst zu erfassen, sind pixelreiche Bildsensoren erforderlich, die große Datenmengen für die Signalverarbeitung liefern. Solche Informationen in Echtzeit aufzubereiten, ist sehr rechenintensiv. Abhilfe schafft das Prinzip der Foveation, bei dem die Umgebung in geringer Auflösung und nur die gesuchten Objekte in hoher Auflösung erfasst werden. Doch was dem Menschen relativ leicht fällt, ist für einen Roboter eine komplexe Aufgabe. Ein

1) M. Ruiz-Llata et al., *Sensors and Actuators B* 191, 371 (2014)

2) R. Dang et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6, 622 (2014)

3) C. W. Hsu et al., *Nat. Commun.*, DOI: 10.1038/ncomms4152 (2014)

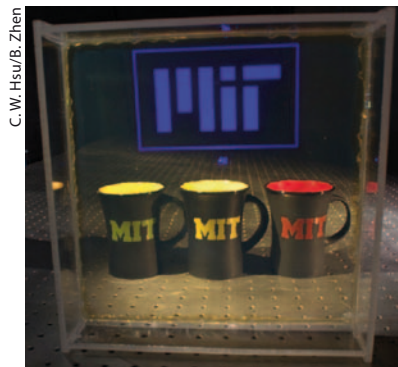
Konsortium aus fünf europäischen Forschungseinrichtungen und zwei Industrieunternehmen, darunter die Fraunhofer-Institute für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden und für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg, hat nun den Prototypen eines foveationsfähigen Kamerasystems vorgestellt.

Der Prototyp rastert seine Umgebung mit einem Infrarotlaserstrahl ab. Als Scanner fungieren fünf monolithische mikroelektromechanische Spiegel, die jeweils eine Fläche von rund 10 mm^2 haben und sich in zwei Raumrichtungen bewegen lassen: In der Horizontalen schwingen die Spiegel resonant mit einer definierten Frequenz von 1,6 kHz, in der Vertikalen quasistatisch mit einer Frequenz von maximal 100 Hz. Die quasistatische Ansteuerung der Spiegel ermöglicht einen zeilenweisen Bildaufbau mit variabler Wiederholrate, wobei sich in einem besonders interessanten Bildbereich die vertikale Messpunktdichte lokal erhöhen lässt, indem man die Scangeschwindigkeit verringert. Als nachgelagerter integrierter Sensor fungiert eine 3D-Time-of-Flight-Kamera, um ein räumliches Bild der Umgebung zu erhalten. Gesteuert wird das System über einen Algorithmus, der durch Bildanalyse die relevanten Objekte im Umfeld identifiziert.

■ Transparenter Bildschirm

Dank resonant streuender Nanopartikel lassen sich durchsichtige Projektionsflächen herstellen.

Transparente Displays gelten als interessanter Technologieansatz, da sich mit ihnen Fenster-, Cockpit- oder Schaufensterscheiben in Projektionsflächen verwandeln lassen. Bereits serienreif sind Head-up-Displays für Autos und Flugzeuge. Allerdings haben sie einen relativ kleinen Betrachtungswinkel. Andere Ansätze sind: diffuse Projektionsflächen, transparente Displays mit organischen Leuchtdioden und transparenter Elektronik sowie Flächen, die durch eingebettete Moleküle die Frequenz von unsichtbarem in sichtbares Licht



Projektion des MIT-Logos auf die transparente Fläche: Die Tassen dahinter sind trotzdem kontrastreich zu sehen.

wandeln. Wissenschaftler des MIT und der Harvard University sowie des U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center in Maryland haben nun gemeinsam ein transparentes Display entwickelt, das sich die resonante Streuung von Nanopartikeln zunutze macht.³⁾ Ihr Ansatz hat gleich mehrere Vorteile gegenüber den anderen Technologien: großer Betrachtungswinkel, billige Ausgangsstoffe, einfache Fertigungsprozesse und Skalierbarkeit.

Die Forscher betten dazu Silberpartikel mit Durchmessern von rund 60 nm in ein durchsichtiges Polymer (Polyvinylalkohol) ein. Das flüssige Polymer und eine wässrige Lösung mit den Nanopartikeln werden dazu vermischt und trocknen bei Raumtemperatur in einem Rahmen in einer Vakuumkammer, um Luftblasen zu entfernen. Zurück bleibt eine knapp 0,5 mm dünne Schicht. Die eingebetteten Nanopartikel streuen das blaue Licht eines RGB-Laserprojektors bei 458 nm resonant. Für die restlichen Farbanteile dagegen hat die Fläche eine Transmission über das sichtbare Spektrum von im Mittel 60 Prozent. Auf dem Labormuster lassen sich sowohl Bilder als auch Animationen in erstaunlicher Qualität darstellen.

Die Forscher sehen in einem Farbdisplay den nächsten Schritt. Prinzipiell lässt sich die Technologie auch auf flexible Displays übertragen oder für die Darstellung von 3D-Bildern nutzen, denn der Großteil des Lichts wird nur einmal gestreut, so dass die Polarisation erhalten bleibt.

Michael Vogel