Hochgeschwindigkeits-3D-Thermografie

LWIR-Highspeed-Wärmebildkamera FLIR X6900sc SLS

Forscher vom Fraunhofer IOF in Jena haben ein Kamerasystem für die dreidimensionale Erfassung von Objekten mit zwei hochauflösenden, sehr schnellen Monochromkameras und einem GOBO-Projektor entwickelt. Weil bei den typischen dynamischen Anwendungen wie Crashtests oder Airbag-Auslösungen außer schnellen räumlichen Prozessen auch Temperaturänderungen eine Rolle spielen können, hat das Jenaer Forscherteam sein System kürzlich mit einer gekühlten Hochleistungswärmebildkamera von FLIR im Rahmen eines gemeinsamen Messprojektes ergänzt – zu einem echten 3D-Wärmebildgebungssystem mit bis zu 1000 Bildern pro Sekunde.

Fraunhofer IOF – Lösungen mit Licht

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (kurz IOF) in Jena betreibt anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der Photonik und entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu den Anwendungen. Das Leistungsspektrum des Instituts umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom opto-mechanischen und optoelektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Und dazu gehört seit 2019 auch ein Hochgeschwindigkeit-3D-Thermografie-System mit einer wissenschaftlichen Kamera von FLIR (Bild 1).

3D-Thermografie-System

Ab 2016 hat das Team des IOF ein Hochgeschwindigkeits-3D-Kamerasystem entwickelt, welches aus zwei Highspeed-Schwarz-Weiß-Kameras in Stereoanordnung und einem selbst entwickelten GOBO-Projektor für die aktive Beleuchtung besteht. Nun haben die Forscher das System zusätzlich um eine Wärmebildkamera erweitert. Dafür verwenden sie eine LWIR-Thermografiekamera vom Typ FLIR X6900sc SLS, die mit Bildraten von bis zu 1000 Hz bei einer Auflösung von 640×512 Pixeln arbeitet.

Anwendungsbereiche und Zielsetzungen

Das Ziel des Systems besteht darin, hochdynamische räumliche 3D- und Wärmedaten zu kombinieren (Bild 2). Extrem schnelle Prozesse wie z. B. ein Sportler in Bewegung, ein Crashtest oder das Auslösen eines Airbags zeigen nicht nur schnelle Veränderungen der Oberflächenform, sondern auch lokale Temperaturänderungen. Bisher war es nicht möglich, diese Änderungen gleichzeitig zu erfassen. Mit dem neuen Hochgeschwindigkeits-3D-Thermografiemesssystem des Fraunhofer IOF ist dies erstmals gelungen.

Funktionsweise

Das System basiert auf zwei Monochromkameras, die im visuellen Spektralbereich (VIS) sensitiv sind sowie mit Bildraten von mehr als 12.000 Hz und einer Auflösung

Bild 1: Beim Kamerasystem der Forscher vom Fraunhofer IOF liefert eine FLIR X6900sc SLS LWIR-Wärmebilder mit 1000 Hz. Die thermischen Daten werden mit den 3D-Daten von zwei Highspeed-Schwarz-Weiß-Kameras kombiniert. Für die dafür notwendige Projektion aperiodischer Streifenmuster verwenden die Forscher ihr eigenes GOBO-System.

Flir
www.flir.eu

Fraunhofer IOF
www.iof.fraunhofer.de

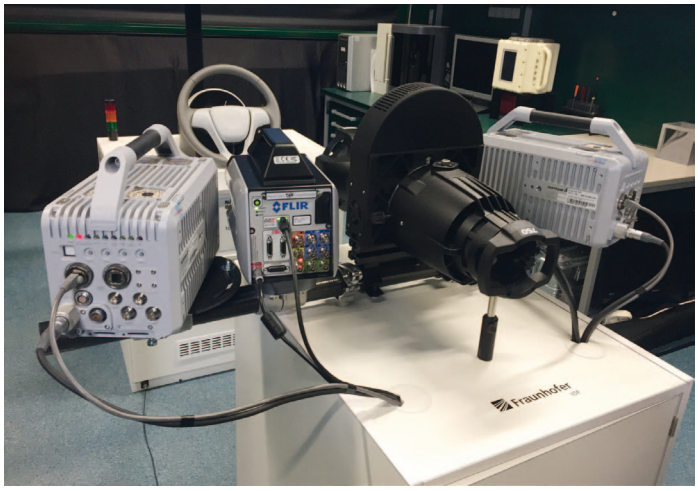

Bild 2: Die 3D-Informationen werden von den Monochromkameras mithilfe der Streifenprojektionen des GOBO-Projektors erfasst. Die 2D-Infrarotdaten der LWIR-Kamera können dank Kalibrierung aller drei Kameras in einem weiteren Schritt mit den 3D-Daten zu einem 3D-Wärmebild fusioniert werden.

von einem Megapixel arbeiten - wobei bei einer geringeren Auflösung sogar noch höhere Bildwiederholraten möglich sind. Die beiden Kameras reichen allerdings noch nicht, um aussagefähige 3D-Daten in der gewünschten Qualität zu erhalten. Zusätzlich ist noch ein ausgeklügeltes Beleuchtungssystem notwendig, das eine

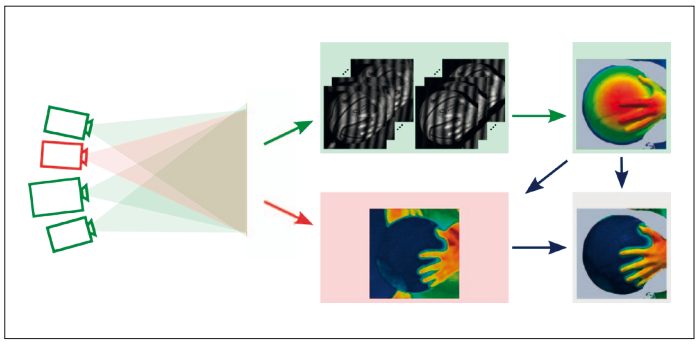

Bild 4: Darstellung des 3D-Wärmebildgebungssystems. Die 3D-Informationen werden von den Monochromkameras mithilfe der Streifenprojektionen des GOBO-Projektors erfasst. Die 2D-Infrarotdaten der LWIR-Kamera können dank Kalibrierung aller drei Kameras in einem weiteren Schritt mit den 3D-Daten zu einem 3D-Wärmebild fusioniert werden. Bild © Fraunhofer IOF

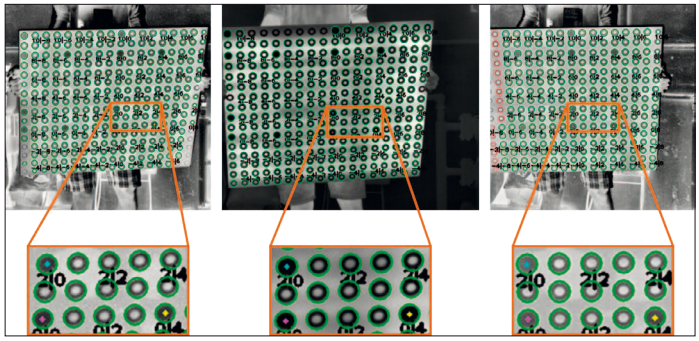

Bild 5: Kalibrierung: Das regelmäßige Raster offener und gefüllter Kreise auf einer Leiterplatte ist sowohl in sichtbarem Licht als auch im LWIR-Bereich gut erkennbar. Bild © Fraunhofer IOF

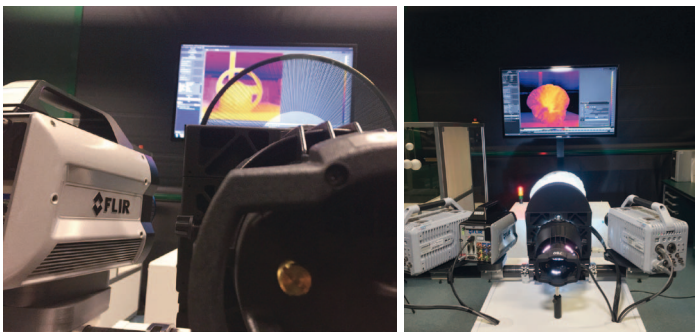

Bild 3: Generierung eines aperiodischen Streifenmusters mit dem GOBO-Projektor.

ultraschnelle Abfolge von Streifenmustern projiziert. Diese Muster ähneln herkömmlichen Sinusstreifen, deren Breite allerdings aperiodisch variiert.

Um diesen Effekt zu erreichen, wurde eine Glasscheibe mit metallischen Streifen aus Chrom bedampft. Diese Scheibe rotiert dann in einem Projektor vor der Optikeinheit und liefert so das Streifenmuster, welches für die eindeutige Pixelzuordnung beider Kameras notwendig ist. Dieses Prinzip nennt man GOBO-Projektion (GOes Before Optics) (Bild 3).

Kombiniert man nun die rekonstruierten 3D-Daten mit den (eigentlich 2-dimensionalen) Daten der Hochgeschwindigkeitswärmebildkamera FLIR X6900sc SLS, entstehen so - vereinfacht gesagt - dreidimensionale Hochgeschwindkigkeitswärmebilder. Diese Kamera arbeitet im langwelligen Infrarotbereich und ist daher im sichtbaren und im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich, in dem die Lampe des GOBO-Projektors Strahlung aussendet, nicht empfindlich. Da die Erwärmung des Objekts durch die projizierten aperiodischen Sinusmuster ebenfalls vernachlässigbar ist, hat der GOBO-Projektor keinerlei Einfluss auf die Wärmebildgebung.

Messung und Datenberechnung

Alle drei Kameras nehmen bei der Messung gleichzeitig Bilddaten auf. Die Daten der Schwarz-Weiß-Kameras ergeben mithilfe der aperiodischen Streifenprojektion des GOBO-Projektors das eigentliche 3D-Bild, für das meist Sequenzen von 10 Bildpaaren zu einem 3D-Bild verrechnet werden. Diese „3D-Rekonstruktion“ ergibt eine räumliche Form, über die nun die Wärmebilddaten der FLIR-LWIR-Kamera gelegt wird, um in einem Mapping-Prozess den räumlichen Koordinaten Temperaturwerte zuordnen zu können (Bild 4).

Kalibrierung

Natürlich muss das System aus VIS-Kameras und LWIR-Kamera vor der Messung kalibriert werden (Bild 5). Dafür verwendet das Team vom IOF ein Kalibrierbrett mit einem regelmäßigen Raster offener und gefüllter Kreise. Damit diese Strukturen selbst bei homogener Temperaturverteilung sowohl im VIS als auch im LWIR erkennbar sind, wurden für Kreise und Hintergrund Materialien mit sehr unterschiedlichen Reflexions- (VIS) und Emissionsgraden

Bild 6: Messbeispiel Basketball: Nach 258 ms ist der Handabdruck des Spielers auf dem Ball als Wärmesignatur zu erkennen. Bild © Fraunhofer IOF.

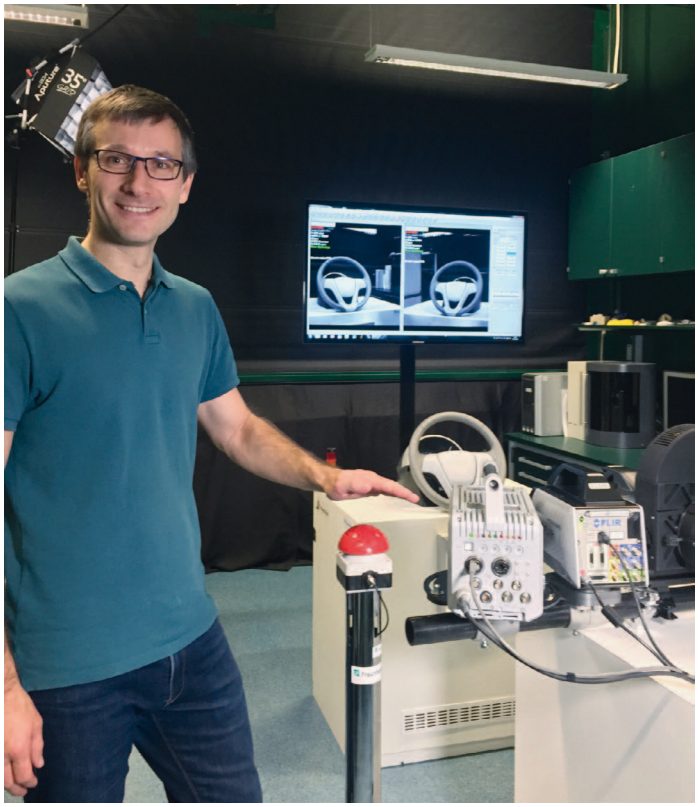

Bild 7: Versuch starten

(LWIR) gewählt. Die Jenaer Forscher fanden in gedruckten Leiterplatten eine Lösung für dieses Problem. Dabei entwickelten sie eine völlig unübliche Leiterplatte bestehend aus dem regelmäßigen Raster offener und gefüllter Kreise anstelle elektrischer Verbindungen zwischen elektrischen Bauteilen.

Messergebnisse: Airbag und Basketball

Das System wurde nun in verschiedenen Szenarien getestet. Dazu gehörte ein Basketballspieler, der einen Ball dribbelt, wobei sich nicht nur eine Verformung des Balls, sondern auch eine thermische Erwärmung ergibt (Bild 6). Nach 258 ms ist der Handabdruck des Spielers auf dem Ball als Wärmesignatur zu erkennen.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Messung der Temperaturentwicklung und die räumliche Darstellung beim Auslösen eines Airbags. Aus einer Entfernung von 3 m nahm das System den schnellen Vorgang für eine halbe Sekunde auf. Durch die Kombination der dreidimensionalen Daten mit den Wärmebildinformationen wurde nicht nur deutlich, wie heiß der Airbag durch die Auslösung wurde – sondern auch zu welchem Zeitpunkt an genau welchen räumlichen Koordinaten. Solche Informationen können dazu beitragen, Verletzungsgefahren für die Autofahrer im Zusammenhang mit einer Airbagauslösung zu reduzieren und zu vermeiden (Bilder 7-10).

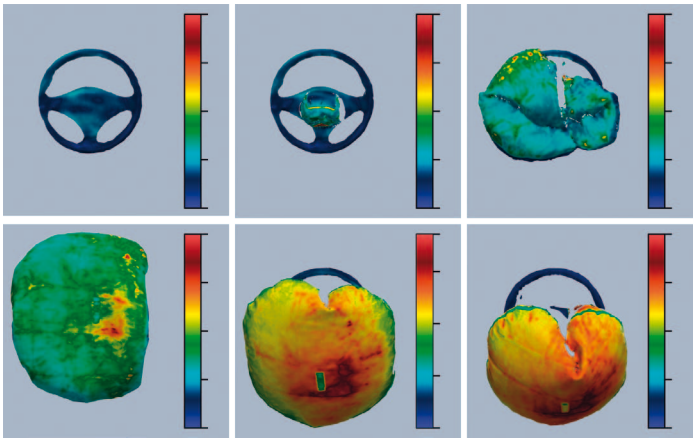

Bild 9: Beispielbilder der berechneten 3D-Wärmebildfolge. Bereits nach 20 ms hat sich der Airbag entfaltet, wobei Geschwindigkeiten von bis zu 50 m/s auftreten. Bild © Fraunhofer IOF

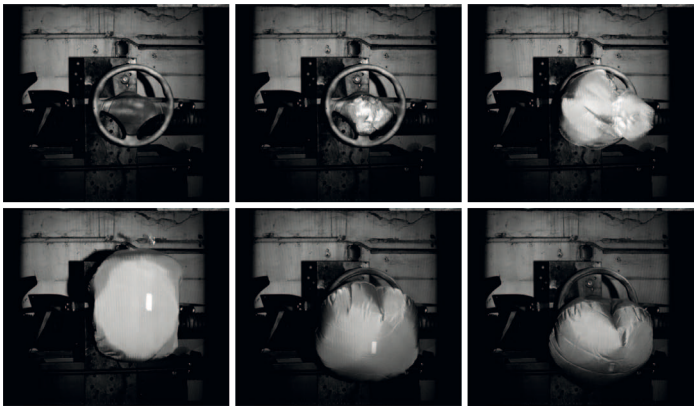

Bild 8: Airbag löst aus. Hier erhält man die rein visuellen Informationen. Bild © Fraunhofer IOF

Schluß und Ausblick

Martin Landmann vom IOF-Forscherteam ist sich sicher: Die Anwendungsmöglichkeiten für eine Kombination aus hochauflösenden 3D-Daten und schnellen Thermografiebildern sind vielfältig. „Vorteilhafte Informationen können z. B. bei der Beobachtung von Crashtests gewonnen werden, bei der Untersuchung von Deformations- und Reibungsprozessen oder bei extrem schnellen, thermisch relevanten Ereignissen wie Explosionen bei der Auslösung eines Airbags oder in einem Schaltschrank“ erklärt Martin Landmann und betont, dass das System konstant weiterentwickelt und optimiert wird. Man darf also auch in Zukunft gespannt sein auf innovative Forschungsergebnisse vom Team des Frauhofer IOF. ◄

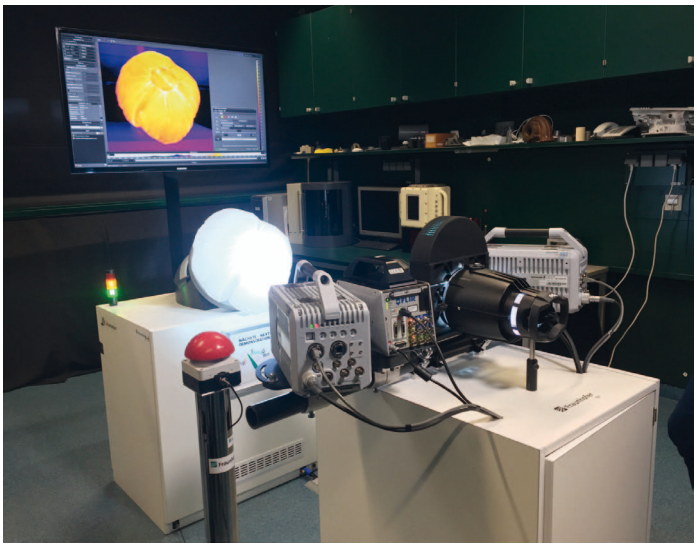

Bild 10: Ausgelöster Airbag

Bilder © Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und FLIR

Weitere Informationen zu Wärmebildkameras oder diesem Anwendungsbeispiel unter: www.flir.eu/science