



TESCA

Direct mirror drive for Terahertz Scanner

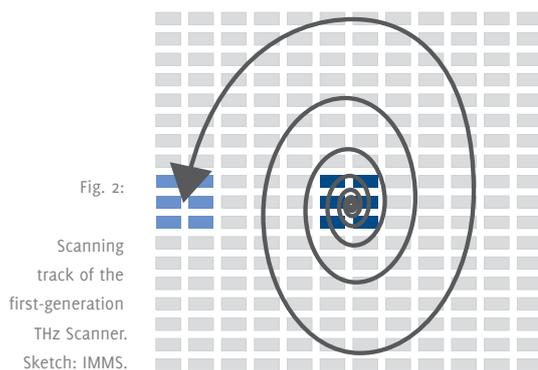
Security checks at airports and major public events involve long queues and much trouble. A “terahertz camera” would enable people to be scanned in future for hidden, possibly dangerous, objects – such as weapons or explosives – effectively scanned as they simply passed by. The acquisition of any object's emissions of intrinsic electromagnetic waves in the THz band carries with it no health risks whatsoever. The technology¹ will render real-time examination from distances of several meters possible.

Installing the scanner mirror into the complete system at IPHT (project partner) in Jena. Photograph: IMMS.

The idea behind the camera's technology is the combination of fairly small sensor matrices with a scanning device in the lens, so that the field of view is wide enough. The first generation of such cameras made use of a tilting mirror with a helical scanning track. Movement of this kind avoids frequent accele-

Figure 1:
Image left: objects tested
(mock pistol, 65g tartaric acid and ceramic knife)
Image right: output from the first generation THz Scanner
Photographs: IPHT Jena.





ration of the scanning mirror with its relatively high inertia. Although the method makes the mirror easy to control, the rotational forces involved mean that the imaging frequency is not high, being limited to 10 Hz. Another problem is that the spiral shape of the scan causes a great deal of data to be produced for the unimportant areas of the image and relatively little for the vital areas.

IMMS' work on the mirror drive has resulted in a crucial component for the next generation of cameras, which permit linear scanning of the field of view and improving the targeting. They also have a significantly higher image frequency, at 25 Hz (figure 3). Improved receiver modules which can be lined up in a single row have been developed by Supracon AG Jena, one of the project partners, and are employed in the new cameras. This means that the demands on the scanner dynamics are considerably different from those in the first generation. A central component of the new THz camera is a mirror lens with a relatively large diameter, about 40 cm. This size is necessitated

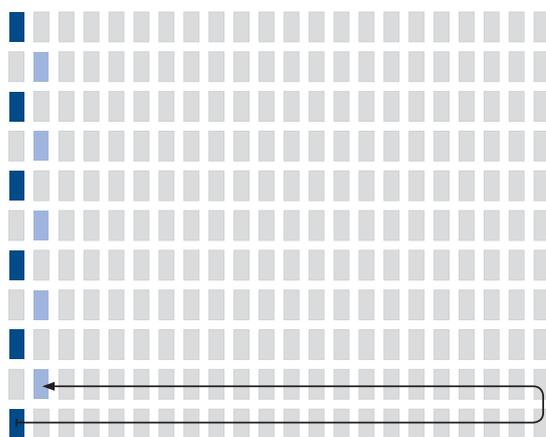


Fig. 3: Linear (therefore targeted) field of view scanning with the second generation THz Scanner. Sketch: IMMS.

by the size of the sensor line. The mirror lens in the earlier version was only about 15 cm in diameter. The mirror of the new lens is moved at a uniform speed in order to map the field of view onto a line of receiving sensors. To achieve this, the mirror has to swing through an angle of $\pm 5^\circ$. This movement needs to take place as constant at speed as possible and with minimum time spent arrested at the reversal points. Because two images are captured with each full cycle, one on the outward swing and one on the return, for a camera frequency of 25 Hz the scanning frequency necessary for the whole device is 12.5 Hz (figure 4).

The mirror thus imposes a great challenge on the actuators to be used. As it is both large and heavy, and its rotational inertia is considerable. In consequence, very high material rigidity is necessary to avoid deformation from the forces induced. Such a large lens moving at such a high frequency (25 Hz) so accurately has not previously been achieved on any known motion device. It was therefore necessary to devise an innovative, stand-alone solution. IMMS applied its know-how in the field of electro-dynamic direct drives to the problem and developed a new actuator together with the necessary controls. Mechanical movement of a kind which has previously been impossible with geared motors is achievable with electro-dynamic direct drives. The drive system developed by IMMS in the "TESCA" project moves the mirror on a special track (figure 4) at a frequency of 12.5 Hz. The actuator consists of a magnetic circuit with permanent magnets and a moving box coil. The forces and moments necessary were first determined from the mass to be moved and the moments of inertia, then the layout of the magnet actuator was designed. Here, the focus had to be on optimising the energy efficiency of the system so that no additional cooling mechanisms would be necessary in standard use. On the basis of the magnetic and mechanical parameters calculated, a model-based design of the control structure was produced. Then the system behaviour was gradually optimised by means of simulation.

The movement profile required here necessitates the application of considerable energy to achieve acceleration, with consequent heat build-up that could interfere with the system. To help solve this problem, IMMS used permanent magnets for energy storage. They absorb the kinetic energy at the end position of the mirror movement for a very short time and then have it available almost immediately for the accele-

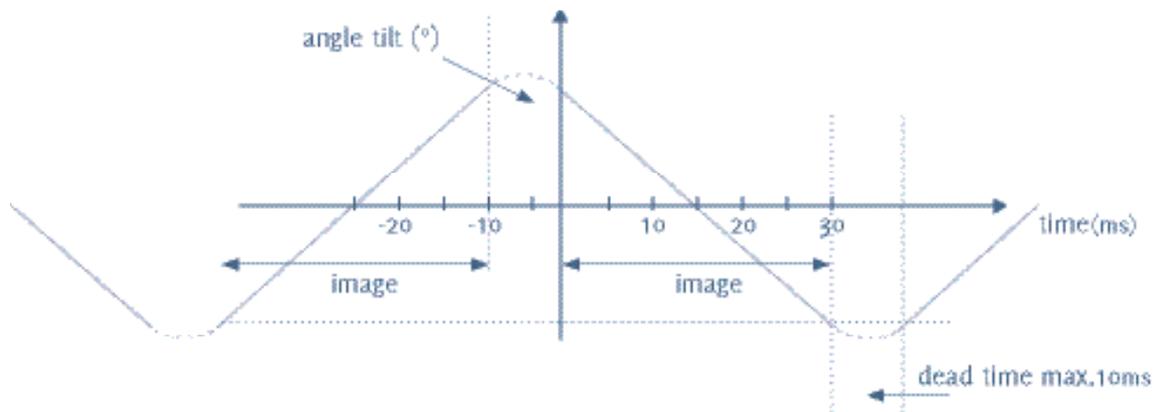


Fig. 4: Tilt cycle of the new mirror drive. Sketch: IMMS.

ration. These magnetic “springs” consist in opposing arrays of permanent magnets exerting repulsive force on each other. There is thus a steep increase in the force exerted at the end positions, while no influence from the magnetic springs is felt over the rest of the swing distance if the movement is at a constant pulsation rate. A number of versions were calculated to achieve optimised movement with the desired accuracy and minimal energy wastage.

To keep to a minimum the mass to be moved, the mirror assembly was designed with a fibre-reinforced support structure. The material employed shows different physical behaviour in different directions. This property is put to strategic use in order to guarantee rigidity of shape in the mirror using as little material as possible. The development, design and construction of the mirror took place in the Institute for composite construction (KVB) at Chemnitz.

The project partners were able to put into operation a prototype of the scanner on a functional model of the THz Camera. Responsibility for the integration of the scanner into the THz Camera lies with Supracon AG Jena.

In the same way as television evolved from the Nipkow disk through the cathode ray tube to the high-resolution flat screen, THz imaging has now also taken its next evolutionary step. This development brings much closer the vision of the sort of security check which would involve no delays, no risk to health, and only an absolute minimum of invasiveness. Moreover, it will be possible to employ the technology of THz imaging in geo-observation supported from the air or from satellites, to facilitate the exploration of natural resources.

Funding for the project (reference KF2534505AB0) has come from BMWi, the federal German ministry of economics and technology, as decreed by the federal German parliament.

Contact:

Dipl.-Ing. Norbert Zeike
norbert.zeike@imms.de

Bibliography:

- 1 E. Heinz, T. May, G. Zieger, D. Born, S. Anders, G. Thorwirth, V. Zakosarenko, M. Schubert, T. Krause, M. Starkloff, A. Krüger, M. Schulz, F. Bauer and H.-G. Meyer, “Passive Submillimeter-wave Stand-off Video Camera for Security Application”, *Journal of Infrared, Millimeter and terahertz Waves*, vol. 31, no. 11, pp. 1355–1369, 2010.



TESCA

Spiegel- Direktantrieb für Terahertz-Scanner

Sicherheitskontrollen an Flughäfen oder bei Großveranstaltungen sind mit viel Wartezeit und großem Aufwand verbunden. Mit einer so genannten Terahertz (THz)-Kamera könnten Personen in Zukunft quasi im Vorbeigehen auf versteckte Gegenstände mit Gefährdungspotenzial, wie Waffen oder Sprengstoffe, untersucht werden. Die Eigenabstrahlung von elektromagnetischen Wellen im THz-Bereich zu erfassen, ist gesundheitlich völlig unbedenklich. Mit der

Montage des Scanner-Spiegels in das Gesamtsystem beim Projektpartner IPHT in Jena. Foto: IMMS.

Technologie¹ ist eine echtzeitfähige Untersuchung aus Distanzen von mehreren Metern möglich.

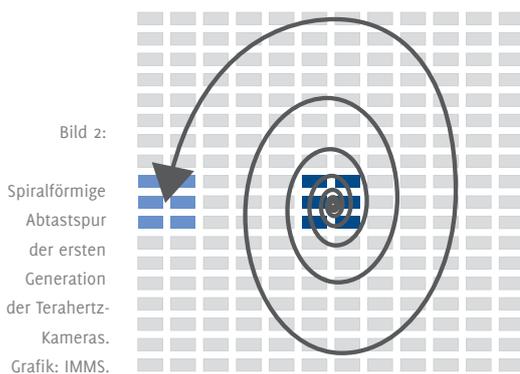
Konzeptionell basiert die neuartige Kameratechnik auf einer Kombination relativ kleiner Sensormatrizen mit einer Abtastvorrichtung im Objektiv, um ein ausrei-

Bild 1:

Die Testobjekte Al-Attrappe Pistole, 65g Weinsäure und Keramikmesser im Original und die entsprechende Bildausgabe des Terahertz-Scanners der ersten Generation. Fotos: ipht Jena.



IMMS



chendes Objektfeld abzubilden. Für die erste Generation der Kameratechnologie wurde dazu ein taumelnder Spiegel mit spiralförmiger Abtastspur eingesetzt (Bild 2). Diese Bewegungsform vermeidet häufige Beschleunigungen des relativ trägen Abtastspiegels. Sie ist dadurch einfach zu kontrollieren, aber wegen der auftretenden Rotationskräfte auf relativ niedrige Bildfolgefrequenzen von 10 Hz beschränkt. Zudem werden generell durch die spiralförmigen Scans viele Informationen zu unwichtigen und relativ wenige zu den wichtigen Bildbereichen bereitgestellt.

Das IMMS lieferte mit seinen Arbeiten für den Spiegelantrieb einen entscheidenden Baustein für Kameras der nächsten Generation. Diese ermöglichen eine lineare und damit zielgerichtete Abtastung des Objektfeldes und deutlich höhere Bildfolgen von 25 Hz (Bild 3). Es kommen vom Projektpartner Supracon AG Jena weiterentwickelte Empfängermodule zum Einsatz, die in einer Zeile angeordnet werden können. Die Anforderungen an die Dynamik der Scan-Vorrichtung verschieben sich damit deutlich im Vergleich zur ersten Generation.

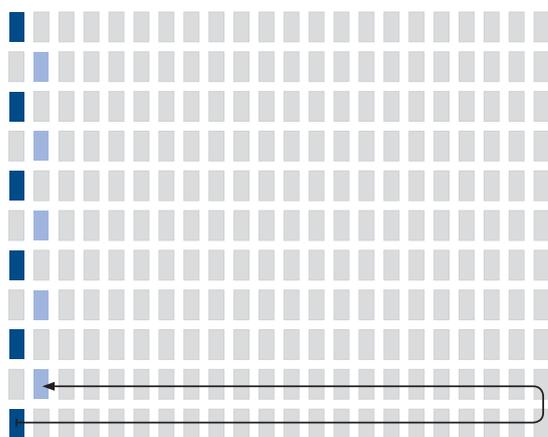


Bild 3: Lineare und damit zielgerichtete Abtastung des Objektfeldes mit der zweiten Generation der Terahertz-Kameras. Grafik: IMMS.

Zentraler Bestandteil dieser THz-Kamera ist ein Spiegelobjektiv mit einem relativ großen Durchmesser von etwa 40 cm, welcher durch die Größe der Sensorzeile erforderlich wurde. Beim Vorgängermodell betrug dieser nur etwa 15 cm. Der Spiegel des neuen Objektivs wird mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt, um das Objektfeld auf eine Empfängersensorzeile abzubilden. Vorgabe hierfür war, dass der Spiegel mit einem Auslenkwinkel von $\pm 5^\circ$ pendelt. Diese Bewegung soll mit möglichst konstanter Geschwindigkeit und minimaler Totzeit an den Umkehrpunkten ausgeführt werden. Für die Bildfolge der Kamera von 25 Hz beträgt die erforderliche Abtastfrequenz der Vorrichtung 12,5 Hz, da in jedem Pendelzyklus zwei Bilder aufgenommen werden, eins auf dem Hin- und eins auf dem Rückweg (Bild 4).

Der Spiegel stellt hohe Anforderungen an die einzusetzende Aktorik durch seine Größe und Masse und damit sein großes Rotationsträgheitsmoment. Er erfordert im Umkehrschluss eine sehr hohe Materialsteifigkeit, um Deformationen durch die eingeleiteten Kräfte zu vermeiden. Eine so große Optik mit der benötigten hohen Dynamik von 25 Hz präzise zu bewegen, war bislang mit keiner bekannten Bewegungsmaschine möglich und erforderte daher eine neuartige und eigenständige Lösung.

Das IMMS setzte hierfür sein Know-how auf dem Gebiet der elektrodynamischen Direktantriebe ein und entwickelte einen neuen Aktor sowie dessen Regelung. Mit elektrodynamischen Direktantrieben sind mechanische Bewegungsabläufe möglich, die mit herkömmlichen Motor-Getriebe-Kombinationen nicht realisiert werden können. Das im Projekt „TESCA“ vom IMMS entwickelte Antriebssystem bewegt den Spiegel auf einer speziellen Bahn (Bild 4) mit einer Frequenz von 12,5 Hz. Der Aktor besteht aus einem Magnetkreis mit Permanentmagneten und aus einer bewegten Kastenspule. Anhand der zu bewegenden Masse und der Trägheitsmomente wurden die erforderlichen Kräfte und Momente bestimmt und darauf aufbauend der Magnetaktor ausgelegt. Den Schwerpunkt bildete hierbei die Energieoptimierung des Systems, um im Regelbetrieb ohne zusätzliche Kühleinrichtungen arbeiten zu können. Auf der Grundlage der erarbeiteten magnetischen und mechanischen Parameter erfolgte ein modellbasierter Entwurf der Regelungsstruktur sowie eine schrittweise simulative Optimierung des Systemverhaltens.

Im Falle des hier erforderlichen Bewegungsprofils werden für die Beschleunigung erhebliche Energien

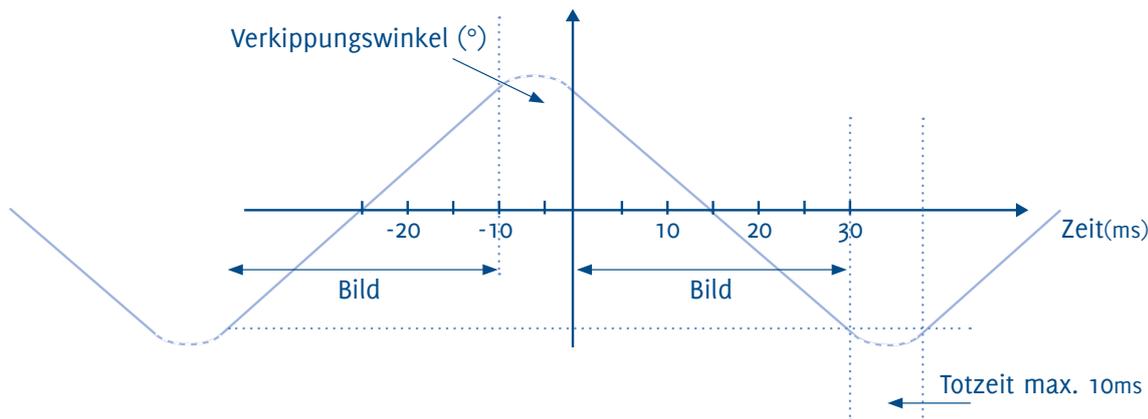


Bild 4: Pendelzyklus des neuen Spiegelantriebs. Grafik: IMMS.

benötigt, die wiederum als Abwärme im System störend auftreten. Zur Lösung dieses Problems hat das IMMS Permanentmagneten als Energiespeicher eingesetzt. Sie nehmen in den Endlagen der Spiegelbewegung die kinetische Energie in sehr kurzer Zeit auf und stellen diese sofort für die Beschleunigung zur Verfügung. Diese Magnetfedern bestehen aus sich repulsiv gegenüberstehenden Permanentmagnetanordnungen. Daraus ergibt sich in den Endlagen der Bewegung ein steiler Anstieg der Kraftwirkung, während ein Einfluss der Magnetfedern im Bereich außerhalb der Umkehrzonen bei Bewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit nicht spürbar ist. Es wurden mehrere Ausführungsvarianten berechnet, um optimierte Bewegungen mit der gewünschten Präzision bei minimalen Energieverlusten zu erreichen.

Um die zu bewegende Masse gering zu halten, ist die Spiegelkonstruktion in einer faserverstärkten Stützstruktur ausgeführt. Der verwendete Werkstoff verhält sich in verschiedenen Richtungen physikalisch sehr unterschiedlich. Diese Eigenschaft wird gezielt eingesetzt, um mit möglichst minimalem Materialeinsatz eine hohe Formsteifigkeit des Spiegels zu garantieren. Die Entwicklung, Konstruktion und Herstellung des Spiegels wurde am Institut für Konstruktion und Verbundbauweisen in Chemnitz (KVB) durchgeführt.

Gemeinsam konnten die Projektpartner einen ersten Prototyp des Scanners an einem Funktionsmuster der THz-Kamera in Betrieb nehmen. Für die Integration des Scanners in die THz-Kamera ist die Supracon AG Jena verantwortlich.

Wie das Fernsehen sich von der Nipkow-Scheibe über die Kathodenstrahlröhre zum hochauflösenden Flachbildschirm entwickelt hat, ist auch bei der THz-Bildgebung der nächste Entwicklungsschritt vollzogen. Damit rückt die Vision einer Sicherheitskontrolle der Zukunft in greifbare Nähe, die gesundheitlich völlig unbedenklich, schnell und mit möglichst geringem Eingriff in die Privatsphäre durchgeführt werden kann. Die Technik der THz-Bildgebung kann darüber hinaus auch in der luft- bzw. satellitengestützten Erdbeobachtung zur Erkundung natürlicher Ressourcen eingesetzt werden.

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen KF2534505ABO.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Norbert Zeike
norbert.zeike@imms.de

Literatur:

- 1 E. Heinz, T. May, G. Zieger, D. Born, S. Anders, G. Thorwirth, V. Zakosarenko, M. Schubert, T. Krause, M. Starkloff, A. Krüger, M. Schulz, F. Bauer and H.-G. Meyer, „Passive Submillimeter-wave Stand-off Video Camera for Security Application“, Journal of Infrared, Millimeter and terahertz Waves, vol. 31, no. 11, pp. 1355–1369, 2010.