



Halle 4A
Stand 126

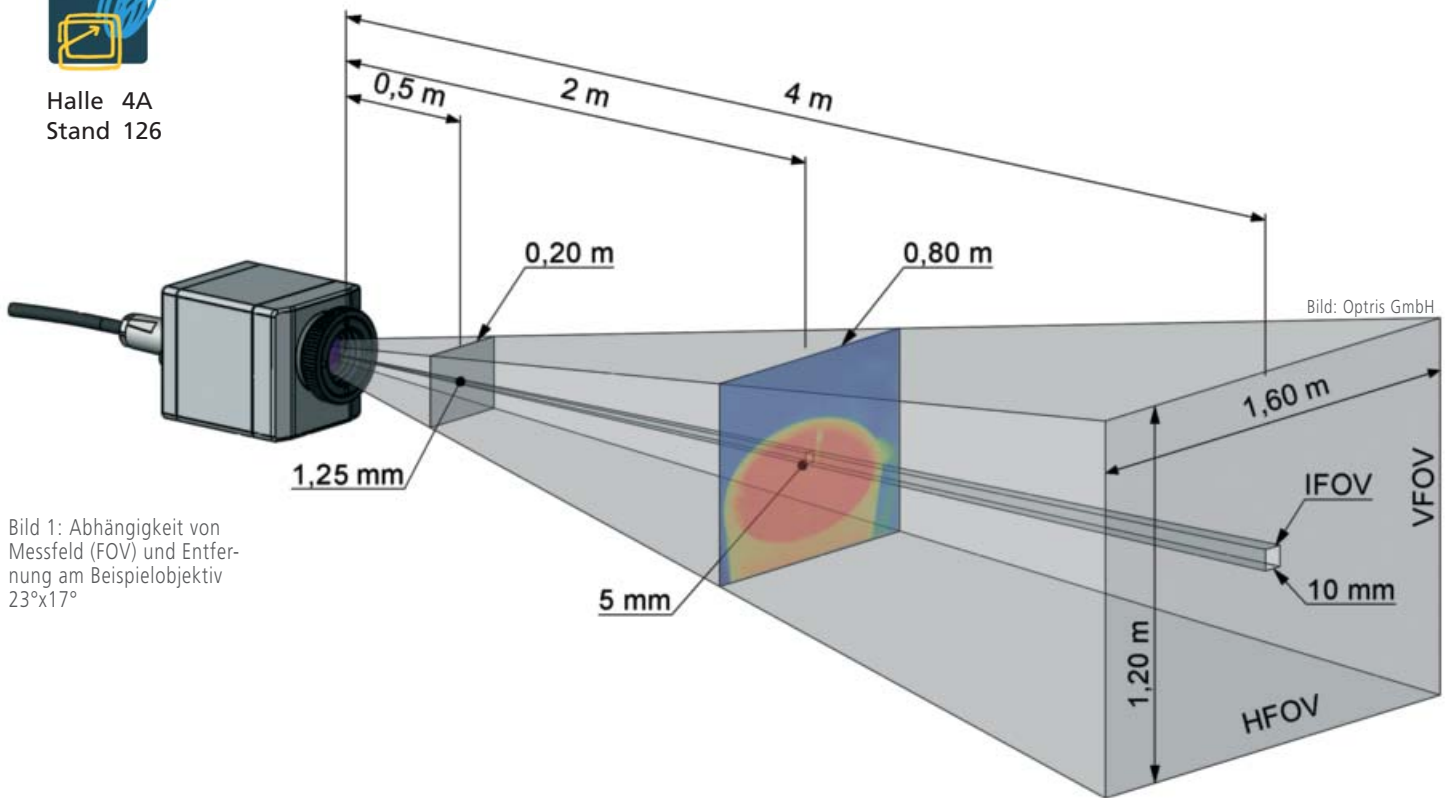


Bild 1: Abhängigkeit von Messfeld (FOV) und Entfernung am Beispielobjektiv 23°x17°

USB für die Thermografie

Was Webcams und Infrarotkameras gemeinsam haben

Wärmebild-Kameras haben zuletzt durch immer effektivere Methoden der Herstellung der IR-optischen Bildsensoren eine drastische Verbesserung ihres Preis-/Leistungsverhältnisses erfahren. Die Geräte sind kleiner, robuster und genügsamer in ihrem Stromverbrauch geworden. Seit einiger Zeit gibt es messende Thermografiesysteme, die – ähnlich einer Webcam – nur noch einen USB-Port für den Betrieb benötigen.

Derartige Kameras arbeiten wie normale Digitalkameras: Sie haben ein Gesichtsfeld, den so genannten field of view (FOV), der als Teleobjektiv 6°, als Standardoptik 26° und als Weitwinkelobjektiv 48° betragen kann. Je weiter man vom Objekt entfernt ist, desto größer ist der erfasste Bildbereich und damit allerdings auch der Bildausschnitt, den ein einzelner Pixel erfasst. Das Gute an diesem Umstand ist, dass die Helligkeit des Leuchtens bei genügend großen Flächen unabhängig von der Entfernung ist. Temperaturmessungen sind dadurch weitgehend unbeeinflusst von der Distanz zum Messobjekt. Die Wärmestrahlung kann im mittleren IR-Bereich nur durch Optiken aus Germanium, Germaniumlegierungen, Zinksal-

zen oder mit Oberflächenspiegeln fokussiert werden. Solche vergüteten Optiken sind im Vergleich zu den gewohnten, in Großserien hergestellten Objektiven im sichtbaren Spektralbereich immer noch ein erheblicher Kostenfaktor bei den Wärmebildkameras. Sie sind als sphärische 3-Linser oder asphärische 2-Linser ausgeführt und müssen für thermometrisch korrekte Messungen gerade bei Kameras mit Wechselobjektiven, bezüglich ihres Einflusses auf jedes Einzelpixel kalibriert werden.

Das Herzstück: Focal Plane Array

Herzstück einer IR-Kamera ist weltweit in den meisten eingesetzten Thermografiesysteme ein Focal Plane Array

(FPA); ein integrierter Bildsensor mit Größen von 20.000 bis zu 1Mio. Pixel. Jeder Pixel selbst ist ein 17x17 bis 35x35µm² großes Mikrobolometer. Solche 150nm dünnen, thermischen Empfänger werden durch die Wärmestrahlung innerhalb von 10ms um zirka ein Fünftel des Temperaturunterschiedes zwischen Objekt- und Eigentemperatur erwärmt. Eine derart hohe Empfindlichkeit wird durch eine extrem geringe Wärmekapazität in Verbindung mit einer vorzüglichen Isolation zur evakuierten Umgebung erreicht. Der Absorptionsgrad der teiltransparenten Empfängerfläche wird durch Interferenz der hindurchgelassenen und danach auf der Oberfläche des Siliziumchips reflektierten Lichtwelle mit der nachfolgenden Lichtwelle erhöht. Zur Nutzung

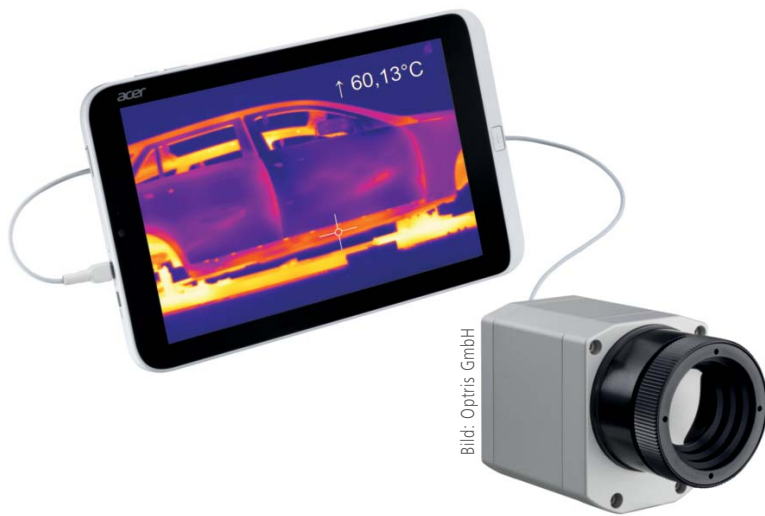


Bild 2: Wärmebildkamera über USB von einem Tablett-PC mit Strom versorgt.

dieses Eigeninterferenzeffektes muss die aus Vanadiumoxid oder amorphem Silizium bestehende Bolometerfläche mittels spezieller Ätztechniken in zirka $2\mu\text{m}$ Entfernung vom Ausleseschaltkreis positioniert werden. Die flächen- und bandbreitenbezogene spezifische

Detektivität der hier beschriebenen FPAs erreicht Werte um $10^9 \text{ cm}^2 \text{ Hz}^{-1} \text{ W}^{-1}$. Sie ist damit anderen thermischen Sensoren, wie sie z.B. in Pyrometern eingesetzt werden, um eine Größenordnung überlegen. Mit der Eigen- temperatur des Bolometers ändert sich

wiederum dessen Widerstand, der in ein elektrisches Spannungssignal gewandelt wird. Schnelle 14bit A/D-Wandler digitalisieren das zuvor verstärkte und serialisierte Videosignal. Eine digitale Signalverarbeitung berechnet für jeden einzelnen Pixel einen Temperaturwert und erzeugt in Echtzeit die bekannten Falschfarbenbilder. Wärmebildkameras benötigen eine recht aufwendige Kalibrierung, bei der jedem Pixel bei verschiedenen Chip- bzw. Schwarzstrahlertemperaturen eine Reihe von Empfindlichkeitskennwerten zugeordnet wird. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit werden die Bolometer-FPAs bei definierten Temperaturen mit großer Regelgenauigkeit thermostatiert. Durch die Entwicklung von immer leistungsfähigeren, kleineren und zugleich preisgünstigeren Laptops, UMPCs, Netbooks und Tablet-PCs wird es neuerdings möglich, deren große Displays zur Wärmebilddarstellung, optimierte Li-Ion Akkus zur Stromversorgung, Rechenkapazität zur flexiblen und qualitativ hochwertigen Echtzeitsignaldarstellung, Speicherkapazität zur

zeitlich praktisch unbegrenzten Wärmebildvideoaufzeichnung sowie Ethernet-, Bluetooth-, WLAN- und Software-schnittstellen zur Integration des Thermografiesystems in die Applikationsumgebung zu nutzen. Die standardisierte USB 2.0 Schnittstelle erlaubt dabei Datenübertragungsraten von 32Hz mit 640x480 Pixel Bildauflösung und von 120Hz bei Bildgrößen von 20.000 Pixeln. Die 2009 eingeführte USB 3.0-Technik ist sogar für XGA-Wärmebildauflösungen bis 100Hz Videofrequenz geeignet. Durch Nutzung des Webcam-Prinzips im Thermografiebereich ergeben sich völlig neue Produkteigenschaften mit einem erheblich verbesserten Preis-/Leistungsverhältnis. Die IR-Kamera ist dabei über die 480MBaud-Schnittstelle in Echtzeit mit dem Windows-basierten Computer, der gleichzeitig die Stromversorgung übernimmt, verbunden.

Leitungslängen von bis zu 10km

USB galt früher als reines Bürokommunikationsmedium. Die im Gegensatz zu FireWire überaus große Verbreitung dieses Interface-Standards hat zahlreiche Entwicklungen initiiert, die die Industrietauglichkeit der Schnittstelle und damit die Nutzbarkeit von USB 2.0-Endgeräten – und hier vor allem USB-Kameras – erheblich verbessert haben. Dazu gehören schleppkettenfähige und bis zu 200°C belastbare Kabel mit Leitungslängen von bis zu 10m und bis zu 100m CAT5E (Ethernet) – Kabelverlängerungen mit Signalverstärkern optische Glasfaser USB-Modems für Leitungslängen von bis zu 10km. Auf Grund der hohen Bandbreite des USB-Busses können z.B. fünf 120Hz IR-Kameras mit einem Standardhub über 100m Ethernetleitung mit dem Laptop verbunden werden. Die wasserdichten, vibrations- und schockbeständigen Wärmebildgeräte genügen der Schutzklasse IP67. 46x45x90mm³ Größe und max. 320g Gewicht vermindern den Aufwand für Kühlgehäuse und Luftblasvorsätze erheblich. Auf Grund der thermischen Drift von Bolometern und deren on-chip-Signalverarbeitung benötigen alle weltweit vermarkteten, messenden IR-Kameras im Abstand von wenigen Minuten eine Offsetkorrektur. Zu diesem Zweck wird ein geschwärztes Metallteil motorisch vor den Bildsensor bewegt. Dadurch wird jedes Bildelement mit gleicher bekannter

Temperatur referenziert. Während einer solchen Offsetkalibrierung sind Wärmebildkameras natürlich blind. Um diesen störenden Effekt zu minimieren kann man durch ein externes Steuerpin die Offsetkorrektur zu einem geeigneten Zeitpunkt initiieren. Gleichzeitig wurden die Kameras so konzipiert, dass die Dauer der Eigenkalibrierung möglichst kurz ist: Der Einbau entsprechend schneller Aktoren erlaubt bei der USB-IR-Kamera die Eigenreferenzierung innerhalb von 250ms. Dies ist vergleichbar mit der Dauer eines Augenlidschlages und damit für viele Messprozesse akzeptabel. Bei Bandprozessen, bei denen plötzliche Hot Spots detektiert werden sollen, können oftmals zeitnah generierte gute Referenzbilder im Sinne einer dynamischen Differenzbildmessung genutzt werden. Dadurch wird ein Dauerbetrieb ohne mechanisch bewegtes Element möglich.

Einsatz in der CO₂-Laserbearbeitung

Gerade beim Einsatz der Kamera in der 10,6µm-CO₂-Laserbearbeitungstechnik hat sich die Möglichkeit des extern gesteuerten Verschlusses des optischen Kanals bei gleichzeitig unabhängiger Signalisierung des opto-mechanisch geschützten Betriebszustandes der Kamera bewährt. Auf Grund guter Filterblockung können Temperaturmessungen bei allen anderen im Bereich von 800nm bis 2,6µm arbeitenden Bearbeitungslasern in situ durchgeführt werden. Für die Anwendung im F&E-Bereich erweist sich die Möglichkeit einer 120Hz Videoaufzeichnung als vorteilhaft. Dadurch können thermische Vorgänge, die nur kurzzeitig im Gesichtsfeld der Kamera sind, später in Zeitlupe analysiert werden. Einzelbilder können somit nachträglich aus einer solchen Videosequenz mit voller geometrischer und thermischer Auflösung gewonnen werden. Außerdem bieten austauschbare Optiken, einschließlich eines Mikroskopvorsatzes, zahlreiche Möglichkeiten der Anpassung des Gerätes an unterschiedliche Messaufgaben: Während 6° Objektive eher zur Beobachtung von Details aus größerer Entfernung verwendet werden, kann man mit einem Mikroskopvorsatz Objekte von 4x3mm² Größe mit einer geometrischen Auflösung von 25x25µm² vermessen. Beim stationären Einbau von USB-IR-Kameras erweist sich deren op-

tisch isoliertes Prozessinterface als vorteilhaft, bei dem aus dem Wärmebild generierte Temperaturinformationen als Signalspannung weitergeleitet werden. Außerdem können flächenbezogene Emissionsgrade bzw. berührungslos oder berührend gemessene Referenztemperaturen dem Kamerasystem über einen Spannungseingang mitgeteilt werden. Zur Qualitätsdokumentation kann ein weiterer Digitaleingang Schnappschüsse oder Videosequenzen auslösen. Solche einzelproduktbezogenen Wärmebilder können automatisch auf zentralen Servern abgelegt werden.

Softwarebasierter Rendering-Algorithmus

Da USB-IR-Kameras, die ab Windows XP bereits im Betriebssystem integrierten Standard USB video class bzw. HID-Treiber verwenden, entfällt jegliche Treiberinstallation. Die einzelpixelbezogene Echtzeitkorrektur der Videodaten und Temperaturberechnung findet im PC statt. Die für 20.000 Sensorpixel erstaunlich gute Bildqualität erreicht man durch einen aufwändigen softwarebasierten Rendering-Algorithmus, der Temperaturfelder im VGA-Format berechnet. Die Software bietet zudem einen Layout-Modus, der unterschiedlichste Darstellungsmodi speichert und restauriert. Ein Videoeditor ermöglicht die Bearbeitung der radiometrischen AVI-Dateien. Solche Dateien können mit der mehrfach parallel nutzbaren Software auch offline analysiert werden. Zu den Videoaufnahmemodi gehören intermittierende Betriebsarten, die die Aufnahme langsamer thermischer Vorgänge und deren schnelle Betrachtung gestatten. Die Übergabe von Echtzeitdaten an andere Programme erfolgt über eine ausführlich dokumentierte DLL als Bestandteil eines Software Development Kits. ■

www.optris.de



Autor: Thomas Ullrich, Sales Director Middle & Eastern Europe, Optris GmbH