

La caméra thermographique : ne pas voir rouge mais au-delà du rouge !

La caméra infrarouge permet de mettre en évidence la partie du spectre électromagnétique de 2 à 14 μm , invisible à l'œil mais porteur de la chaleur rayonnée ressentie par la peau.

La caméra d'aujourd'hui, de faibles dimensions, très maniable, ne peut exister que grâce aux développements de l'électronique et de rétines spécialement sensibles aux infrarouges de ces dernières décennies. La thermographie est donc sortie d'un anonymat réservé à dans des applications militaires ou astronomiques. La caméra thermographique est devenue un outil de diagnostic incontournable de la maintenance prédictive, dans la recherche et la mise au point de produits, car la plupart des défauts constatés sur des machines se traduisent par des échauffements ou des refroidissements anormaux.

Une structure classique mais une rétine spéciale.

Les premières caméras, les plus performantes, étaient équipées d'un capteur matriciel dont la technique reposait sur des effets quantiques dans des matériaux semi-conducteurs particuliers dont la métallurgie d'élaboration était spécifique. Mais ces composants, de par leur nature sont sensibles à la génération thermique, ils doivent être refroidis à l'azote liquide (77 K) ou par une machine à cycle Stirling, ce qui ne rendait pas la caméra très facile à manipuler. Le coût était dissuasif pour un usage industriels, pour lequel les performances extrêmement élevées n'étaient pas nécessaires, les applications se limitaient aux domaines militaires et scientifiques.

La caméra infrarouge, dans une utilisation industrielle, a pu se développer avec l'apparition de rétines (imageurs) infrarouges non refroidies, associées à des optiques aux lentilles au germanium laissant passer l'infrarouge. Le français Sofradir, qui figure parmi les leaders mondiaux de l'infrarouge refroidi, a créé avec le Léli un laboratoire commun qui développe, aujourd'hui, une génération d'imageurs : des matrices de la classe 1024 x 768 pixels, avec des pas de seulement 17 μm . Le laboratoire utilise pour ces imageurs à micro bolomètres le silicium amorphe.

Ces micro bolomètres ou détecteurs infrarouges non refroidis, présentent des rapports coût/performance qui leur ouvrent les marchés civils de masse. Ulis, société essaimée du Léli, les fabrique à l'échelle industrielle et développe de nouvelles générations de bolomètres dans le cadre d'un laboratoire commun. Ils s'appuient sur le principe de la détection thermique du rayonnement infrarouge incident. La détection du flux IR est réalisée par la mesure de l'élévation de température produite par l'absorption de l'énergie incidente. Ils sont plus facilement produits que les imageurs refroidis, car ils sont entièrement réalisés en silicium amorphe et peuvent donc être fabriqués avec les techniques de la micro-électronique silicium des circuits intégrés classiques, à faibles coûts de fabrication et très haute fiabilité. Ces micro bolomètres standard, au silicium, amorphe permettent aujourd'hui d'atteindre un NEDT de l'ordre de 30 mK. Le NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) ou DTEB (Différence de température équivalente au bruit). C'est le bruit superposé au signal sur des scènes thermiques généralement à 30°C.

Ces mesures thermiques, sans contact, permettent, entre autres, de caractériser des revêtements destinés à protéger leur substrat d'une usure précoce grâce à une méthode impulsionnelle en face

avant, connue sous le nom de méthode "flash". Elle consiste à exciter de façon très brève la surface de l'échantillon, ce qui a pour conséquence l'absorption d'une quantité d'énergie par l'échantillon, et à mesurer la variation de rayonnement thermique induite. A partir de la mesure de ce signal, on détermine simultanément l'« effusivité » (indique la vitesse à laquelle la température de surface d'un matériau varie) et la « diffusivité » thermique du dépôt ainsi que la résistance thermique de contact pouvant exister entre ce dernier et son substrat.

Des applications multiples

Le spectre d'utilisation de la caméra thermographique est très large pour peu que l'on sache analyser correctement l'image que l'on capte.

Les domaines d'utilisation les plus courants sont ceux de l'électricité, de la mécanique et du bâtiment. Généralement, les caméras sont, dans ces domaines, utilisées pour l'inspection, la maintenance prédictive et comme outil de diagnostic.

Les systèmes de thermographie infrarouge sont couramment utilisés pour l'inspection d'installations électriques. Les problèmes de connexions électriques, à l'origine de pannes ou de dysfonctionnements, sont dus à une augmentation de résistance qui entraîne une élévation de la température. L'absence de contrôle des points d'échauffement peut conduire à des élévations anormales de la température, avec risque d'endommagement ou d'incendie.

Un échauffement anormal peut être dû à d'autres anomalies telles que le déséquilibre de phase, l'oxydation de contacts, des défauts de serrage, de sertissage, des câbles sous dimensionnés, La caméra percevra facilement l'élévation de température. Il suffit d'une caméra de bas de gamme, la moins chère, pour effectuer ces diagnostics. La caméra est également efficace pour le contrôle rapide de moteurs, de disjoncteurs, de transformateurs, de toute installation électrique basse, moyenne et haute tension. L'opération à distance offre un avantage majeur dans le cas d'installation sous tension. Le balayage rapide par la caméra des installations, à distance de sécurité, permet de sauvegarder les diverses images et de les analyser par la suite sur ordinateur.

En mécanique, le contrôle des installations constitue une partie importante des opérations de maintenance prédictive, dans la plupart des entreprises industrielles. L'usure d'une pièce mécanique conduit le plus souvent à une élévation de la température. Ainsi, les moteurs, les paliers, les poulies de convoyeurs... peuvent être contrôlés plus rapidement que d'autres types de mesures vibratoires par thermographie infrarouge. Par contre, les défauts, sur des balais de collecteurs et d'armatures de moteurs électriques, qui peuvent entraîner des échauffements importants, mais pas de vibrations, ne sont perceptibles que par la thermographie.

Dans le bâtiment, la caméra infrarouge est un outil de diagnostic. Les problèmes d'isolation sur les toitures sont facilement détectés, l'eau conservant plus longtemps la chaleur du soleil que les matériaux de la toiture. La détection de fuite de gaz, de vapeur, le contrôle du niveau de corrosion des conduites peuvent être également abordés par la caméra thermographique.

Choisir

La caméra infrarouge est un capteur qui reçoit le rayonnement émis naturellement par les objets qui nous entourent. Le flux reçu est proportionnel à la puissance quatrième de la température de l'objet et son spectre d'émission varie avec cette température. Il faut noter qu'un corps chaud dans l'environnement proche peut perturber la mesure, l'opérateur doit avoir une grande expérience pour une bonne utilisation de cet outil ! Certains fabricants offrent des formations adaptées à leurs produits. Il y a au moins deux types de caractéristiques importantes à considérer, celles métrologiques et celles optiques. Les caractéristiques métrologiques concernent la réponse spectrale, la discrimination spatiale, la discrimination thermique et la fréquence image. La réponse spectrale est principalement comprise entre 8 et 14 μm pour les caméras ondes longues et 2 et 5 μm pour celles ondes courtes. Plus la température s'élève plus les longueurs d'ondes diminuent. Dans des cas particuliers de hautes températures, la caméra ondes courtes s'impose. Pour les objets à température ambiante ayant une radiation maximum à 10 μm , la caméra à ondes longues est la plus répandue. La discrimination spatiale dépend du nombre de pixels de la matrice, toutes les caméras actuelles utilisent un capteur à plan focal dont la définition est de 160 x 120, 320 x 240 ou 640 x 480 pixels ou plus. Le nombre de pixels de la matrice définit la dimension du plus petit point analysable, pour une mesure fiable, il faut 2 x 2 pixels. La discrimination thermique dépend du seuil de bruit NETD . Elle est améliorée par un moyennage en temps réel des images dont il faut se méfier dans le cas de gradients thermiques rapides ou d'objets en mouvement. Il est nécessaire de savoir si on peut supprimer le moyennage, dans ce cas la fréquence image sera réellement celle spécifiée 50 Hz ou plus.

Les critères optiques sont la condition d'une inspection correcte d'un équipement. Pour que l'objet soit dans le champ de la caméra, on définit le FOV (Field of View) pour un objectif donné. Le FOV maximal est l'angle que font deux points aux extrémités diagonales de l'écran avec la position supposée de la caméra. Il permet de connaître la dimension de l'image infrarouge en fonction de la distance entre l'objet et la caméra. Si la caméra est utilisée pour diverses applications, il est donc nécessaire de prévoir le modèle qui permet le changement d'objectif, du grand angle au téléobjectif. La distance minimum de focalisation a aussi son importance pour l'inspection d'objets de petites dimensions. La règle, pour obtenir une mesure convenable, est que le point à mesurer occupe au moins 3 x 3 pixels dans l'objet inspecté.

J.-P. Feste

ENCADRE

L'infrarouge reconnu il y a 200 ans

Le corps humain possède deux types de perception électromagnétique qui sont la lumière par l'œil et la température par la sensibilité cutanée. La richesse de ce que l'on voit a fait que les développements pour capter les images se sont rapidement développés à partir de la photographie au XIX siècle. Le rayonnement infrarouge, lui, bien qu'intuitivement perceptible par la peau exposée à la chaleur émise par une source chaude dans le noir, fut prouvé en 1800 par William Herschel, un astronome anglais, au moyen d'une expérience très simple : Herschel a eu l'idée de placer un thermomètre à mercure dans le spectre obtenu par un prisme de verre afin de mesurer la chaleur propre à chaque couleur. Le thermomètre indique que la chaleur reçue est la plus forte du côté du rouge du spectre, et même au-delà de la zone de lumière visible, là où il n'y avait plus de sensations perçues par l'œil.

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
InfraTec / Jenoptik l.o.s. / www.InfraTec.net	VarioCAM hr basic	-40 à 1200°C (option 2.000°C), détecteur 320x240 pixels	80 mK @ 30°C (50 mK en mode premium)	Non refroidie / 7;5 à 14 µm	Objectif standard 25° x 19° / IFOV = 1,4 mrad	PAL/NTSC-FBAS, S-Video, VGA, RS232,Trig-ger, FW FireWire (IEEE 1394), WiFi	Industries process, Maintenance électrique et mécanique, Bâtiment, R&D, etc.../ protection IP 54,	Fréquence d'images 50/60 Hz, codage A/D 16 bit, objectifs interchangeables (à baïonnette)
InfraTec / Jenoptik l.o.s. / www.InfraTec.net	VarioCAM hr inspect	-40 à 1200° C (option 2.000°C), détecteur 384x288 pixels (option 768x576 pixels)	80 mK @ 30°C (50 mK en mode premium)	Non refroidie / 7;5 à 14 µm	Objectif standard 30° x 23° / IFOV = 1,4 mrad ou 25° x 19°/ IFOV = 1,2 mrad	PAL/NTSC-FBAS, S-Video, VGA, RS232,Trig-ger, FW FireWire (IEEE 1394), WiFi	Industries process, Maintenance électrique et mécanique, Bâtiment, R&D, etc.../ protection IP 54	Fréquence d'images 50/60 Hz, codage A/D 16 bit, objectifs interchangeables (à baïonnette)
InfraTec / Jenoptik l.o.s. / www.InfraTec.net	VarioCAM hr research	-40 à 1200°C (option 2000°C), détecteur 640x480 pixels (option 1240x960 pixels)	80 mK @ 30°C (50 mK en mode premium)	Non refroidie / 7;5 à 14 µm	Objectif standard 30° x 23° / IFOV = 0,83 mrad	PAL/NTSC-FBAS, S-Video, VGA, RS232,Trig-ger, FW FireWire (IEEE 1394), WiFi	Industries process, Maintenance électrique et mécanique, Bâtiment, R&D, etc.../ protection IP 54	Fréquence d'images 50/60 Hz, codage A/D 16 bit, objectifs interchangeables (à baïonnette)
FLIR Systems www.flir.fr	InfraCAM SD/BCAM SD	InfraCAM SD: -10°C à 350°C BCAM SD: -20°C à 100°C	InfraCAM SD : 0,12°C BCAM SD : 0,1°C	Non refroidie/7,5- 13µm	25°x25°	USB Carte SD	InfraCAM SD : Electrique, mécanique BCAM SD : Bâtiment	550 g
FLIR Systems www.flir.fr	ThermaCAM Série T/B	Série T: -20°C à 350°C en 2 gammes (jusqu'à 1200°C en option) Série B : -20°C à 120°C (jusqu'à 350°C en option)	T200 : 0,1°C T250, B200 : 0,08°C T360 B250: 0,07°C T400, B360 : 0,06°C B400 : 0,05°C	Non refroidie/7,5- 13µm	25°X19°	USB Vidéo PAL/NTSC Carte SD	Série T : Electrique, mécanique Série B : Bâtiment	Module visible (1,3 Mpixels) 880 g

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
FLIR Systems www.flir.fr	FLIR P660	-40°C à 500°C (jusqu'à 2000°C en option)	0,045°C	Non refroidie/7,5-13µm	24°X18°	Mini USB USB FireWire Wireless IrDA RS170 EIA/NTSC ou CCIR/PAL Carte SD	Electrique, Mécanique, Bâtiment, R&D,...	Module visible (3,2 Mpixels)
FLUKE www.fluke.fr	Fluke TiS	-20 à 100°C, 120x120 pixels	100mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	17° x 17°, 2,5mrad (120x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Bâtiment, Mais aussi Maintenance électrique et mécanique, dans la limite de la plage de T°C,	* Résiste à une chute de 2 m * Simple d'utilisation * Cout minime pour ses caractéristiques * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2 ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke TiRx	-20 à 100°C, 160x120 pixels	100mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Bâtiment, Mais aussi Maintenance électrique et mécanique, dans la limite de la plage de T°C,	*Résiste à une chute de 2 m *IR-Fusion (option à postériori) *Simple d'utilisation *Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) *Garantie 2ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke TiR	-20 à 100°C, 160x120 pixels	100mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Bâtiment, Mais aussi Maintenance électrique et mécanique, dans la limite de la plage de T°C,	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Vendu avec un package complet * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
FLUKE www.fluke.fr	Fluke TiR1	-20 à 100°C, 160x120 pixels	70mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Bâtiment, Mais aussi Maintenance électrique et mécanique, dans la limite de la plage de T°C,	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Vendu avec un package complet * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke TiR32	-20 à 150°C, 320x240 pixels	50mk	Non refroidie / 8 à 14µm	23° x 17°, 1,3mrad (320x240)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Bâtiment, Mais aussi Maintenance électrique et mécanique, dans la limite de la plage de T°C,	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Objectifs additionnels en option * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke Ti9	-20 à 250°C, 160x120 pixels	200mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Maintenance électrique et mécanique	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion (option à postériori) * Simple d'utilisation * Vendu avec un package complet * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
FLUKE www.fluke.fr	Fluke Ti10	-20 à 250°C, 160x120 pixels	200mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Maintenance électrique et mécanique	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Vendu avec un package complet * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke Ti25	-20 à 350°C, 160x120 pixels	100mk	Non refroidie / 7,5 à 14µm	23° x 17°, 2,5mrad (160x120)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Maintenance électrique et mécanique Mais aussi Bâtiment	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Vendu avec un package complet * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans
FLUKE www.fluke.fr	Fluke Ti32	-20 à 600°C, 320x240 pixels	50mk	Non refroidie / 8 à 14µm	23° x 17°, 1.3mrad (320x240)	USB, via lecteur de carte SD (2Go, 1200 images radiométriques)	Maintenance électrique et mécanique Mais aussi Bâtiment	* Résiste à une chute de 2 m * IR-Fusion * Simple d'utilisation * Objectifs additionnels en option * Mise à jour logiciel gratuite (sans licence) * Garantie 2ans
Lumasense technologies	MC 320	320X240 pixels -40°à1600°C	0,06°C	8à14µm 3à5µm 3,9µm 4,8à5 ;2µm	21°x16° 75°x56° 53°x40° 11°x8° Macro	Ethernet Vidéo Module E/S	Industrie R&D Hot Spot	Soft MicroSpec MicroSpech RT

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
Synergys Technologies Irisys	IRI 4035	Sans filtre -10°C à + 250°C Avec filtre +200°C à +500°C 160x120 pixels	Sans filtre <80mKà23°C Avec filtre < 240 mKà23°C	Non refroidie 8µm à 14 µm	20° x 15° 2.2 mrad	USB type B	Maintenance Industrie Process Haute température	CNPP APPROV AL
Synergys Technologies Irisys	IRI 4040	-10°C à +250°C 160x120 pixels	<100mKà23mK	Non refroidie 8µm à 14 µm	10.2° x 7.7°	USB type B	Contrôle Installation HT Grandes distances	CNPP APPROV AL
Synergys Technologies Irisys	IRI 2010	-10°C à +350°C 47x47 pixels	<0.3°C à 30°C	Non refroidie 8µm à 14 µm	20°C x 20°C	USB type B	Maintenance IP54	Fusion d'image Visible / IR
Synergys Technologies Irisys	IRI 5300	-15°C à +50°C 384x288 pixels	<100mK à 20°C	Non refroidie 8µm à 14µm	35° x 26° Ou 12° x 9°	RS232ou RS285 115200 bits/s VideoPAL/NTSC	Sécurité Surveillance	
Testo, www.testo.fr	0563 880 V2	-20 à +100 °C et 0 à 350°C (commutable) 160x120 Pixels	0.1°C	Non refroidi 8 à 14µm	Grand angle 32° x 24°, 3,5 mrad Téléobjectif ⁽¹⁾ 12° x 9°, 1,3 mrad	USB	Maintenance préventive électrique et mécanique. Thermographie du bâtiment IP54	Ecran LCD 3.5" (320 x 240) Focalisation manuelle. Version 33Hz Objectif interchangeable
Testo, www.testo.fr	0563 880 V3	-20 à +100 °C et 0 à 350°C (commutable) 160x120 Pixels	0.1°C	Non refroidi 8 à 14µm	Grand angle 32° x 24°, 3,5 mrad Téléobjectif ⁽¹⁾ 12° x 9°, 1,3 mrad	USB	Maintenance préventive électrique et mécanique. Thermographie du bâtiment IP54	Ecran LCD 3.5" (320 x 240) Focalisation manuelle et motorisée. Version 33Hz Logiciel IR-Soft inclus Objectif interchangeable

Distributeur Fabricants, Site Internet	Référence produit	Gamme de mesure de température. Résolution du capteur	Résolution thermique NETD	Refroidie / non refroidie Bande spectrale	Résolution spatiale : FOV (°), IFOV (mrad)	Interfaces	Applications principales, IP	Commentaires
Testo, www.testo.fr	0563 880 V4	-20 à +100 °C et 0 à 350°C (commutable) 160x120 Pixels	0.1°C	Non refroidi 8 à 14µm	Grand angle 32° x 24°, 3,5 mrad Téléobjectif 12° x 9°, 1,3 mrad	USB	Maintenance préventive électrique et mécanique. Thermographie du bâtiment IP54	Ecran LCD 3.5" (320 x 240) Focalisation manuelle et motorisée. Version 33Hz Téléobjectif inclus.
Testo, www.testo.fr	0560 882	-20 à +350 °C 550°C option 320x240 Pixels	<60mK 33Hz	Non refroidi 8 à 14µm	Grand angle 32° x 24°, 3,3 mrad Téléobjectif ⁽¹⁾ 9x7°, 1 mrad	USB	Maintenance préventive électrique et mécanique. Thermographie du bâtiment IP54	Ecran LCD 3.5" (320 x 240) Focalisation manuelle et motorisée. Version 33Hz Logiciel IR-Soft inclus Objectif interchangeable