

Imageur infrarouge faible coût, faible résolution pour applications grand public

Charles SION, Katir ZIOUCHE, Pascale GODTS, Zahia BOUGRIOUA, Tuami LASRI et Didier LECLERCQ

Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologies,
UMR 8520, Cité Scientifique, Avenue Poincaré,
BP 60069, 59652 Villeneuve d'Ascq cedex France
*(auteur correspondant : didier.leclercq@univ-lille1.fr)

Résumé – Dans cet article, nous décrivons un imageur infrarouge à très faible coût présentant des performances suffisantes pour développer un système d'analyse d'image permettant de détecter la présence et l'activité humaine. Cet appareil est basé sur une matrice de microcapteurs thermiques spécialement développée pour être associée à un objectif rudimentaire constitué d'une lentille de Fresnel en polyéthylène. Les caractéristiques essentielles de cette caméra montrent qu'elle convient parfaitement à des applications grand-public. Enfin, des images de dimension 3x3 pixels illustrant les possibilités en détection humaine sont fournies.

1. Introduction

Il existe une demande croissante dans les applications de surveillance grand-public utilisant des imageurs peu coûteux. De tels systèmes sont susceptibles de fournir toutes sortes d'aides aux personnes dans leur vie quotidienne. En particulier, dans le cadre du maintien à domicile des personnes âgées, la détection de présence et d'activité, la détection de chute ou encore le pilotage intelligent du chauffage ou de l'éclairage seraient très utiles. Pour pouvoir fonctionner dans l'obscurité totale des capteurs opérationnels dans l'infrarouge lointain sont nécessaires. Par ailleurs, afin de ne pas nuire à la vie privée des occupants, la définition de tels imageurs doit être très basse, de l'ordre de quelques dizaines de pixels.

Les imageurs infrarouge classiques disponibles sur le marché sont de type bolométrique [1] et sont surdimensionnés en termes de résolution et de coût (> 1000 euros) en regard des applications visées dans cette étude. De plus, ils nécessitent une alimentation électrique pour fonctionner.

A l'heure actuelle quelques sociétés commercialisent de petites matrices de type thermoélectriques [2], [3] qui génèrent elles-mêmes le signal ce qui est un point très important à prendre en compte actuellement pour diminuer la consommation électrique du détecteur. Elles restent néanmoins coûteuses car elles nécessitent une encapsulation dans un boîtier sous gaz neutre ou sous vide, comportant une fenêtre transparente aux infrarouges.

Les matrices de capteurs mises au point au laboratoire sont également de type thermoélectrique mais, en revanche, elles sont prévues pour fonctionner sans boîtier de protection ce qui rend leur fabrication beaucoup plus économique. Par petites quantités (100 000 pièces), le coût à l'unité de ces nouvelles matrices (5x5 pixels de 2x2mm² chacun) a été évalué à environ 50 euros ce qui les rend accessibles pour des applications individuelles.

2. Description de l'imageur infrarouge

Les deux éléments qui sont la cause essentielle du coût important des imageurs disponibles sur le marché sont l'objectif qui doit laisser passer le rayonnement infrarouge et la matrice de

capteurs. La première contrainte à se fixer pour résoudre ce problème est l'utilisation de lentilles de Fresnel en polyéthylène pour constituer l'objectif en lieu et place de lentilles en silicium ou germanium monocristallins infiniment plus coûteuses. En ce qui concerne les matrices classiques de micro-capteurs, la majeure partie du coût de fabrication est dû au boîtier de protection qui comporte une fenêtre transparente aux IR. Cette encapsulation est indispensable pour limiter la convection et la conduction thermiques [4]. Pour éliminer ce second inconvénient, il apparaît alors logique de réaliser des matrices de capteurs immunisés contre les perturbations thermiques et pouvant fonctionner sans boîtier de protection. De tels micro-capteurs thermiques ont déjà été développés au laboratoire en tant que capteurs unitaires non imageants et dans cet article, nous décrivons les résultats obtenus lorsque le même principe de fonctionnement est appliqué à une matrice de 3x3 pixels.

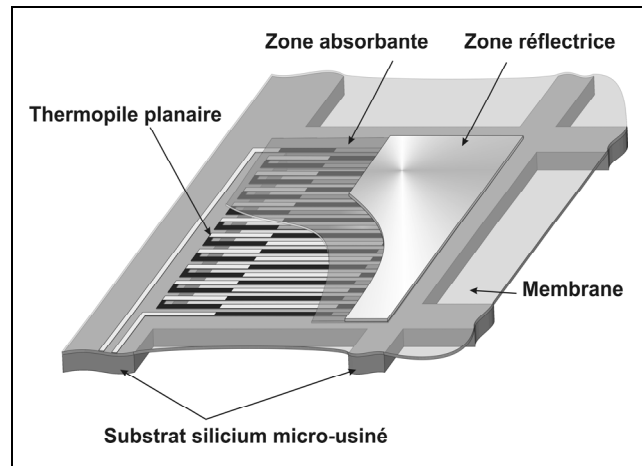


Figure 1: Microcapteur infrarouge élémentaire (pixel)

3. Principe de fonctionnement

Chaque micro-capteur est constitué de 3 parties opérationnelles (figure 1) : le revêtement superficiel effectuant une absorption différentielle du rayonnement infrarouge, la thermopile en forme de méandre composée de quelques centaines de micro-thermocouples polysilicium-or et le substrat de silicium micro-usiné. La couche superficielle est constituée de bandes absorbantes (polyimide) et réfléchissantes (or) dans le domaine infrarouge. Dans la zone absorbante, le flux de rayonnement incident est converti en chaleur ce qui provoque une augmentation de température si la cible est plus chaude que le capteur ou inversement. Sous le réflecteur, il n'y a pratiquement aucun rayonnement absorbé et par conséquent cette zone demeure sensiblement à la température du capteur. La différence de température produite entre les zones d'absorption et de réflexion est alors convertie en force électromotrice par la thermopile plane. La conductivité thermique du substrat de silicium étant très élevée, il est nécessaire de l'évider sous chaque micro-capteur afin d'obtenir un gradient de température significatif. Pour cela, le substrat est gravé à l'aide d'un procédé lithographique suivi d'une attaque plasma, formant ainsi une membrane SiNx faiblement contrainte soutenant chaque pixel. Les positions optimales des jonctions de la thermopile sont déterminées par modélisation, afin d'annuler exactement les perturbations thermiques induites par la conduction et la convection gazeuse et de ne prendre en compte que le rayonnement incident [5].

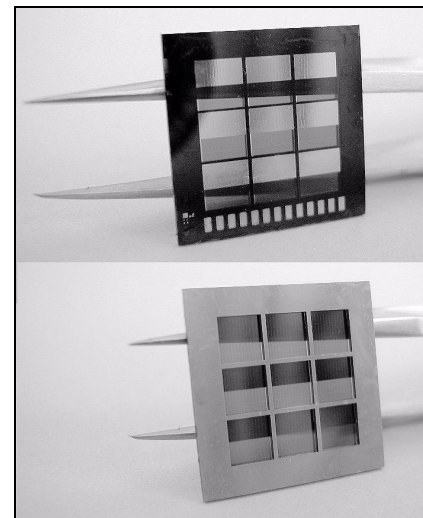


Figure 2: Vues avant et arrière d'une matrice de 3x3 pixels:

La matrice de micro-capteurs présentée figure 2 possède une définition de 3x3 pixels. Chaque pixel a pour dimension 3x3mm², une sensibilité de 3,5 V/W et une détectivité

spécifique de $2.10^7 \text{ W}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$. La f.e.m. délivrée par chaque micro-capteur est amplifiée à l'aide d'un amplificateur opérationnel à zéro automatique et convertie en signal numérique 8 bits par un microcontrôleur gérant une interface RS485. Comparé aux caméras infrarouge classiques, la consommation est faible, typiquement 9-12V pour 20 mA, car cette matrice thermoélectrique n'a besoin ni d'alimentation électrique ni de régulation de température. L'imageur infrarouge présenté figure 3 est équipé d'une lentille de Fresnel en polyéthylène de 1,3 pouce de diamètre, d'épaisseur 0,02 pouce et de longueur focale de 0,79 pouce. L'angle d'ouverture est de 65 degrés, la résolution thermique (NETD du système) est de $0,02^\circ\text{C}$ à 25°C . L'étendue de mesure en température est de 10°C à 50°C et le temps de réponse est de 100 ms. La bande spectrale de l'imageur est limitée par la lentille de Fresnel (8-14 μm) et non pas par la matrice de micro-capteurs (5-20 μm) ce qui convient parfaitement à la détection de présence humaine [6].

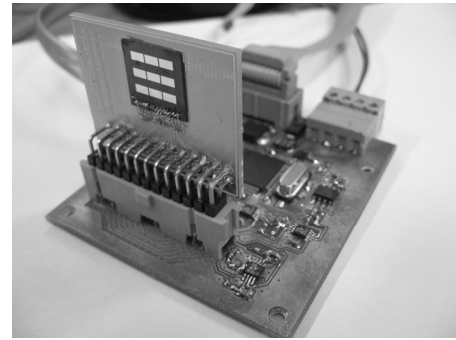


Figure 3 : Photographie de la partie électronique de l'imageur 3x3 pixels

4. Résultats obtenus

L'imageur 3x3 pixels a été relié à un PC afin d'afficher et enregistrer les images des scènes thermiques. Dans le cas d'une application en détection de présence humaine, un logiciel a été développé pour convertir l'intensité du rayonnement infrarouge émis par les cibles dans trois pseudo-couleurs : noir, rouge, et jaune. Le niveau noir est automatiquement ajusté en prenant en référence le pixel le plus sombre parmi les neuf. Les couleurs jaune et rouge représentent respectivement les niveaux élevés et moyens du rayonnement infrarouge. Avec l'objectif de longueur focale de 0,79 pouce, la distance maximum pour détecter une personne est environ 25 mètres.

Des images converties en niveau de gris, mais néanmoins exploitables, de différentes attitudes statiques et dynamiques d'une personne située à une distance d'environ 5m sont représentées figures 4 (a, b, c, d, e). Dans ce cas, la largeur de la scène observable est 3,3 mètres. Le temps de réponse de la caméra (environ 100 ms) permettant de distinguer le saut d'une personne, comme illustré dans la figure 4 (f), est bien adapté pour la détection de chutes. Un enregistrement vidéo de cette scène est disponible sur le site web de notre équipe de recherche [7].

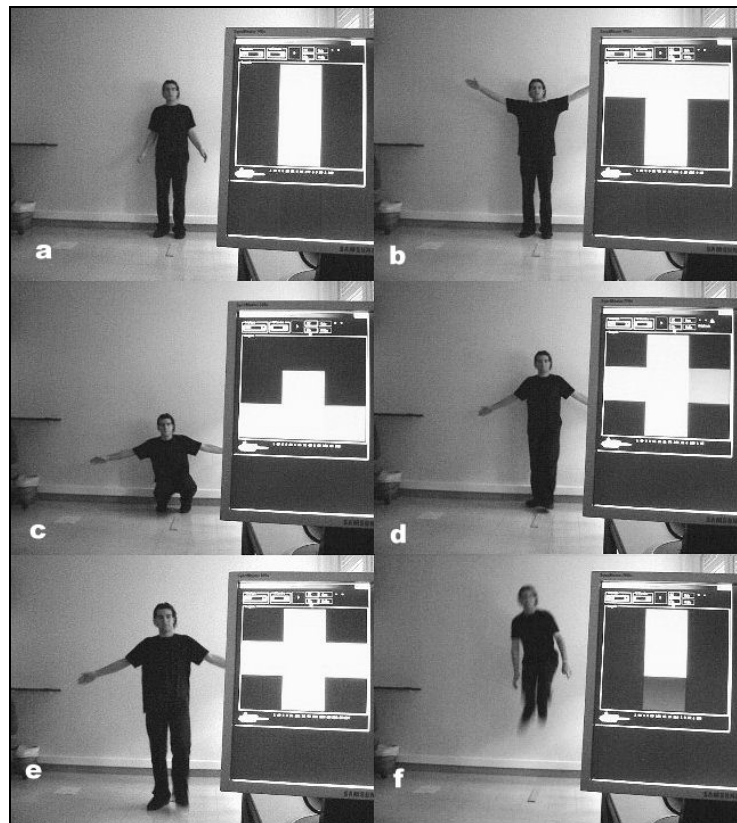


Figure 4 : Exemple d'images IR obtenues en détection de présence humaine

La capacité de ce système imageant à basse définition pour contribuer au contrôle de l'activité humaine à domicile a été démontrée. En effet, contrairement aux systèmes pyroélectriques, ce dispositif permet de déterminer la position et l'attitude (debout, couchée, assise ...) d'une personne même immobile. De plus, en cas de déplacement, la direction suivie (gauche, droite, vers la caméra ou vers l'arrière) peut également être connue. Pour améliorer la fiabilité de la détection et distinguer, par exemple, un être humain d'un animal familier, il peut être nécessaire de générer une image 3D virtuelle. Dans ce but, plusieurs imageurs pourront être mis en œuvre ce qui devient envisageable dans des applications domotiques en raison du très faible coût de ces dispositifs.

5. Conclusion et perspectives

Nous avons proposé une nouvelle famille de matrices imageantes infrarouge basées sur une architecture originale ne nécessitant pas de boîtier de protection et particulièrement conçues pour être associée à des lentilles de Fresnel en polyéthylène. L'imageur obtenu à partir de ce concept offre un équilibre intéressant entre la taille, la résolution et le coût, ce qui ouvre la voie à un éventail d'applications très large tant dans le domaine de la détection humaine que de la prévention incendie.

Des travaux sont actuellement menés dans le cadre d'une thèse de doctorat [8] pour dimensionner, modéliser et réaliser des matrices de 3x3 à 8x8 pixels d'environ 1x1mm². Le but à atteindre est de réduire encore la taille et donc le coût de ces capteurs tout en améliorant la définition. Par ailleurs un logiciel destiné à fournir des informations d'alarme à partir de l'analyse de l'attitude humaine est également en cours de développement.

Références

- [1] S. Eminoglu, M.Y. Tanrikulu and T Akin, A Low-Cost 128 × 128 Uncooled Infrared Detector Array in CMOS Process, *J. of Microelectromechanical Systems*, Vol. 17, Issue 1 (2008), 20-30.
- [2] Société DEXTER (Etats-Unis)
- [3] Société HEIMANN SENSORS (Allemagne)
- [4] M. Hirota, Y. Nakajima, M. Saito and M. Uchiyama, 120 × 90 element thermoelectric infrared focal plane array with precisely patterned Au-black absorber, *Sensors and Actuators*, A 135 (2007), 146–151.
- [5] M. Boutchich, K. Ziouche, K., M. Yala, P. Godts and D. Leclercq, Unpackaged Infrared Microsensor on Suspended Membranes using doped Polysilicon Thermopile, *Sensors and Actuators*, A Physical, Vol. 121, Issue 1 (2005), 52-58.
- [6] S. Chin-Shown and C. Sien, CMOS compatible thermoelectric infrared sensors, *Electronics Letters*, Vol. 36, Issue 13 (2000), 1117-1118.
- [7] <http://mitec.iemn.univ-lille1.fr/>
- [8] C. Sion, Conception et réalisation de matrices de microcapteurs pour imagerie infrarouge très faible coût. Thèse de Doctorat en cours, Université de Lille 1, (2008 ...)

Remerciements

Région Nord-Pas de Calais

Monsieur Romain Jooris, technicien à l'IEMN