

Système de détection et de suivi d'individu par détecteur infrarouge passif

R. Canals¹

J. Zisa²

B. Taillade³

¹Institut PRISME – Université d'Orléans

raphael.canals@univ-orleans.fr

² Sté TECHNEXT josephzisa@technext.fr (ORCID iD : 0000-0002-1259-0533 Researcher ID : E-7953-2015)

³Société Hymatom

Résumé

Dans le cadre d'une application de gestion d'éclairage ou de vidéosurveillance, le suivi d'individu nécessite une puissance algorithmique conséquente si la solution passe par la vidéo et du traitement d'image.

Pour limiter cette problématique, un nouveau capteur, le SPIRIT (Smart Passive InfraRed Intruder Sensor, Locator and Tracker) basé sur la technologie des détecteurs infrarouges passifs, a été conçu. Cette technologie, associée à un traitement du signal spécifique et une optique innovante, permet d'identifier le faisceau ayant vu l'individu. Ainsi sa détection et son suivi sont optiques et ne nécessitent qu'une puissance de calcul embarquée minimale. La technologie infrarouge numérique mise en oeuvre est fiable et fait du SPIRIT un élément d'analyse de mouvement peu onéreux, même dans l'obscurité totale. Le capteur ainsi développé fournit les coordonnées angulaires de l'individu. Associé à une radio pour le mettre en réseau, le SPIRIT réalise le suivi de l'individu dans son champ de visibilité et relaye alors l'information au SPIRIT voisin concerné pour la continuité du suivi.

Cette mise en réseau peut permettre la localisation spatiale précise de l'individu, mais si on veut le localiser et améliorer les capacités de suivi d'un détecteur SPIRIT unique, le traitement du signal effectué doit être renforcé.

Mots Clef

Détecteur infrarouge passif, détection, localisation et suivi d'individu.

Abstract

To make a individual tracking within the framework of a application of lighting managing or videosurveillance requires a consequent algorithmic power if the solution passes by video and the associated image processing.

To limit these problems, a new sensor, the SPIRIT (Smart Passivates InfraRed Intruder Sensor, Locator and Tracker) based on the passive infra-red detectors technology, was made. This technology, associated with a

specific signal processing and a innovating optics, allows to identify the beam having seen the individual.

Thus his detection and tracking are optical and require only a tiny embedded computing power. The numerical infrared technology implemented is reliable and makes SPIRIT a motion analyze element not very expensive, even in total darkness. The sensor thus developed provides the angular coordinates of the person. Associated with a radio to connect it in a network, the SPIRIT carries out the person tracking in its field of vision and relays then the information with the next SPIRIT concerned with the tracking continuity.

This network installation can allow precise spatial individual localization, but if one wants to locate a person and improve the tracking capacities with a single detector SPIRIT, the requisite signal processing must be reinforced.

Keywords

Passive infrared sensor, detection, localization and person tracking.

1 Introduction

Les techniques de suivi d'individu visent à déterminer sa position dans l'espace au fur et à mesure de son déplacement. Elles doivent pouvoir gérer les interactions complexes et la dynamique dans les séquences, telles que les occultations, le mouvement relatif de la personne par rapport au capteur, les changements d'éclairage et d'angle de vue.

Les utilisations du suivi n'en sont pas moins variées dans les applications comme les interfaces homme-machine [1], la communication vidéo avec compression [5], les systèmes de surveillance et de gestion d'énergie [6], [3], la vision par ordinateur, l'automatique industrielle et d'autres applications spécifiques.

Lorsque ce suivi est réalisé à partir d'une caméra vidéo, le processus mis en oeuvre nécessite une structure logicielle importante reposant sur le traitement d'image et la vision afin d'obtenir des résultats viables pour l'application.

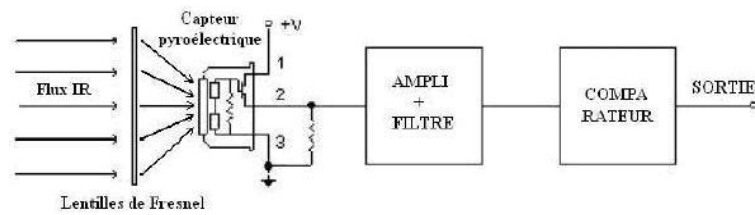


Figure 1 : Le détecteur IRP

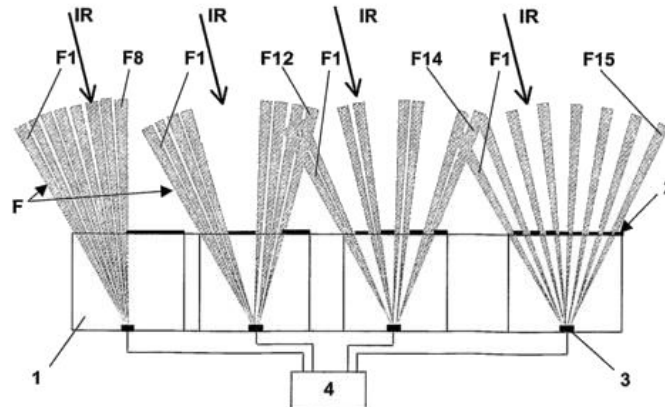


Figure 2. Les faisceaux du SPIRIT

L'architecture matérielle d'accueil requiert alors une puissance de calcul considérable afin de tenir les contraintes de temps d'exécution, ce qui ne permet pas toujours de respecter les besoins en termes d'intégration et de consommation.

C'est la raison pour laquelle, dans certaines applications principalement liées aux automatismes du bâtiment (alarme d'intrusion, interrupteur automatique pour la gestion d'énergie, ...), les détecteurs de mouvement à infrarouge passifs (IRP) sont utilisés. Ces dispositifs présentent l'avantage, par rapport aux systèmes d'imagerie classiques, d'être peu onéreux et peu gourmands en énergie [2]. Un point important à notifier est que ces IRP sont des capteurs « tout ou rien » : ils fournissent un signal « vrai » si un individu, ou plus précisément une source de chaleur, est entrée dans leur champ de vision, un signal « faux » dans le cas contraire. Dans une problématique de suivi d'individu, ce type de capteur ne peut donc pas être utilisé en l'état car il ne permet pas de localiser de manière précise la personne dans l'espace à contrôler, à moins d'utiliser une panoplie de capteurs afin de quadriller l'espace de manière assez précise.

Dans ce contexte, un nouveau capteur IRP a été développé pour contrecarrer ce problème. Ainsi le capteur SPIRIT (Smart Passive InfraRed Intruder Sensor, Locator and Tracker) a été introduit : il fournit les coordonnées angulaires avec une résolution de 4° de

l'individu et permet donc son suivi lors de son déplacement dans l'environnement surveillé.

Le paragraphe suivant introduit le principe de fonctionnement des IRP. Le nouveau détecteur SPIRIT est présenté au paragraphe 3 et deux applications de mise en œuvre sont explicitées au paragraphe 4. Une conclusion avec perspectives vient finaliser cet article.

2 Fonctionnement d'un IRP

Un détecteur IRP est composé de 4 éléments distincts : une lentille de Fresnel, un capteur pyroélectrique, un amplificateur de signal couplé à un filtre et un comparateur (Figure 1). Le capteur pyroélectrique convertit le flux infrarouge en information électrique par le biais de deux éléments sensibles montés en différentiel. Ce montage différentiel permet de ne pas prendre en compte les variations de température ambiante mais uniquement les mouvements d'une source de chaleur.

Le capteur pyroélectrique n'étant sensible qu'aux variations du flux infrarouge incident, il faut lui associer un système optique permettant de moduler ce flux en cas de déplacement de la source. Le champ de vision du capteur est alors segmenté en « faisceaux d'observation » qui sont des zones de l'espace dans lesquelles le capteur voit une source infrarouge. Cette segmentation est réalisée le plus couramment par une matrice de lentilles de Fresnel qui induisent cette variation de flux quand la

personne se déplace. Cette matrice focalise ainsi sur le seul composant

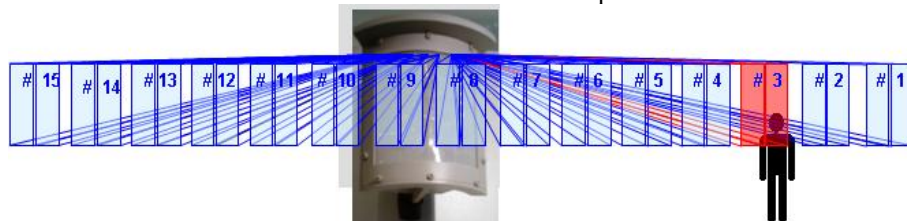


Figure 3 : Les faisceaux du SPIRIT

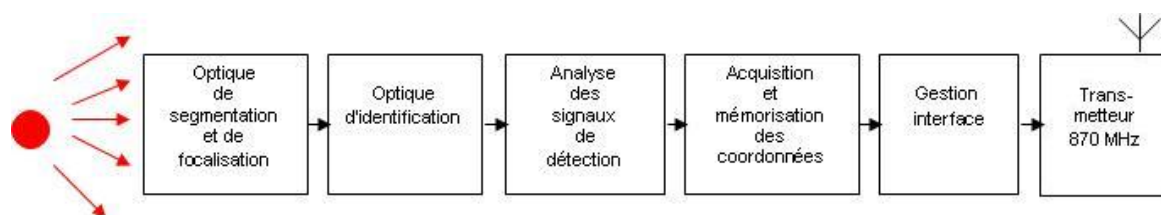


Figure 4 : Schéma-blocs du détecteur SPIRIT low-power

pyroélectrique l'ensemble des rayonnements infrarouges provenant des faisceaux d'observation, et ce sans pouvoir les différencier, c'est-à-dire sans pouvoir déterminer la position de l'individu dans la zone d'observation et encore moins son déplacement.

Le signal électrique très faible fourni par le capteur pyroélectrique est ensuite amplifié avant de passer dans un filtre passe-bande ; un comparateur permet d'éliminer les fausses détections.

3 Le détecteur SPIRIT

Le détecteur SPIRIT utilise la technologie fiable et peu onéreuse des détecteurs infrarouges passifs mais son traitement du signal spécifique associé à une optique innovante et brevetée [INPI, 2007] permet d'identifier le faisceau ayant vu l'individu dans son champ de vision. Il est passif, donc indétectable et inoffensif pour les personnes, les animaux et l'environnement.

Ainsi le principe de base de notre système (Figure 2) consiste à détecter un individu dans une zone d'observation donnée au moyen de N capteurs IRP (1) constitués, chacun, d'un dispositif optique (2) pourvu d'une matrice de cellules focalisant l'énergie infrarouge reçue sur un seul composant pyroélectrique (3) relié à une unité de calcul (4) apte à interpréter les informations reçues. Le détecteur SPIRIT se caractérise en ce qu'il consiste, pour détecter un individu dans la zone d'observation, à disposer d'un nombre réduit de N capteurs infrarouges (1), similaires, centrés sur la même zone d'observation, pourvus chacun de 2^{N-1} cellules, donc de faisceaux (F), qui sont masquées, pour chacun d'eux, selon une combinaison différente de manière à fournir à l'unité de calcul des informations permettant de localiser l'individu en position et en déplacement.

Chaque faisceau possède son numéro d'identification. Cela permet de suivre les déplacements de la cible et de la localiser en permanence dans le champ de vision du détecteur, même dans l'obscurité totale.

Le champ de vision d'un module SPIRIT, d'une ouverture de 60° , est segmenté en 15 faisceaux d'observation qui sont les angles solides à l'intérieur desquels la moindre source de température en mouvement est détectée. A noter que, comme indiqué au paragraphe 2, chacun des 15 faisceaux doit être divisé en deux sous-faisceaux afin d'éliminer les variations de température ambiante.

Grâce à sa matrice de lentilles de Fresnel particulière et au traitement de signal associé, les deux sous-faisceaux sensibilisés sont identifiés et la personne localisée.

Si celle-ci poursuit son déplacement dans le champ de vision du SPIRIT, la connaissance des faisceaux consécutivement interceptés fournit de précieux renseignements sur sa trajectoire et sa vitesse de déplacement.

Son suivi est optique et ne nécessite que peu d'élaboration ; la puissance de calcul embarquée est donc minimale, il en découle un faible prix de revient et une consommation totale moyenne de l'ordre de $150 \mu A$ dans sa version low-power, assurant une autonomie de 5 ans avec une pile Lithium 3V.

La figure 4 présente les blocs fonctionnels composant le détecteur. Le SPIRIT peut être muni d'un transmetteur radio dans la bande des 870 MHz pour faciliter son intégration.

Le principe du détecteur SPIRIT avec les zones de détection telles que définies dans la figure 3 est représenté à la figure 5.

L'axe du capteur faisant un angle connu avec un axe de référence, il est possible de connaître les coordonnées

sphériques de la personne par rapport à ce même axe, et

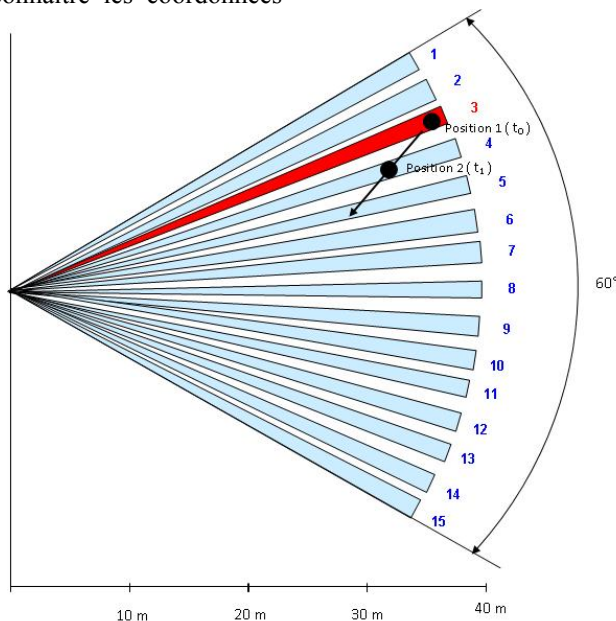


Figure 5 : Les zones de détection du SPIRIT

Faisceaux	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
t_0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 1 : Séquence temporelle générée par le détecteur SPIRIT

donc d'afficher la position sur un écran représentant un plan des lieux ou de piloter une caméra vidéo. A partir de l'information générée, le détecteur fournit la séquence temporelle donnée dans le tableau 1.

De cette séquence temporelle sont déduites les coordonnées angulaires de la personne lors de son déplacement. Mais sa position à chaque instant reste inconnue. Une étude est en cours pour introduire des notions de topologie mathématique afin de délimiter les frontières de détection de chacun des faisceaux infrarouge. Un algorithme de prédiction de type Kalman est également envisagé pour déterminer la position possible de l'individu. Une solution est d'utiliser le détecteur SPIRIT avec une caméra vidéo ou en réseau avec d'autres détecteurs SPIRIT.

Un problème se pose néanmoins quand deux personnes coupent les faisceaux du capteur SPIRIT : le code binaire généré est erroné. En supposant qu'une de ces deux personnes est détectée en premier avec un code binaire particulier, une incohérence de code apparaîtra lorsque le deuxième individu pénétrera dans le champ de vision du détecteur. A partir de la suite de codes binaires corrects produits lors du déplacement de la première personne et des codes erronés qui suivent, il est possible de déterminer, dans certaines conditions et par déductions,

les positions angulaires successives de chacun des deux individus. Le problème se complique dans le cas de trois personnes ou plus ...

4 Applications du détecteur SPIRIT

De manière générale, le détecteur SPIRIT est couplé à une caméra afin de réduire considérablement la complexité algorithmique à mettre en œuvre pour suivre une personne passant dans leurs champs de vision. Deux possibilités peuvent alors être envisagées : utiliser une caméra fixe ou caméra mobile (figure 6). Dans le premier cas, il est préférable d'utiliser une caméra avec un angle de vue sensiblement similaire à celui du détecteur infrarouge. Lorsqu'un faisceau du SPIRIT est traversé par une personne, son numéro est transmis au système afin de restreindre la fenêtre de l'image complète dans laquelle l'individu se situe. Dans le deuxième cas, une caméra faible angle suffit puisqu'il suffit de l'asservir par rapport au numéro du faisceau actif, ce qui permet de se focaliser directement sur la personne. A noter que dans tous les cas, la caméra n'est alimentée que si elle est réveillée par le détecteur infrarouge après détection d'un individu.

En associant un à six détecteurs SPIRIT à une caméra mobile sous dôme pilotée grâce à un asservissement

spatial
et
équipé
e de
ses
propres
projecteurs
infrarouge
afin

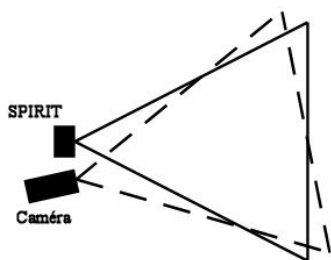


Figure 6 : Le détecteur SPIRIT associé à une caméra

d'être
efficace
de jour
comme
de nuit,
nous
obtenons

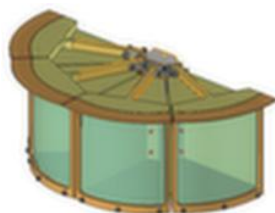


Figure 7 : Des détecteurs SPIRIT associés pour une couverture angulaire de 180°

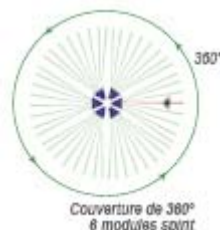


Figure 8 : Six détecteurs SPIRIT pour une couverture angulaire de 360°

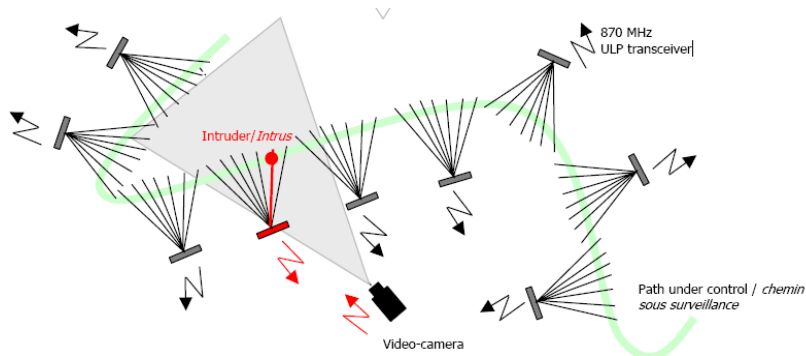


Figure 9 : Un réseau de détecteurs SPIRIT pour une couverture totale

un système permettant la détection, la localisation et le suivi de mouvement dans un espace angulaire de 60 à 360° (Figures 7 et 8). Une unité de traitement numérique assure la gestion des détecteurs SPIRIT, l'analyse numérique des images fournies par le dôme, le pilotage de la caméra en site, azimut et zoom, la communication IP et la gestion d'entrée-sorties. Cette unité est en fait un double détecteur volumétrique redondant : un détecteur vidéo et un détecteur thermique. Le transmetteur radio équipant le SPIRIT permet de le mettre en réseau. Chaque transmetteur relayant ses voisins, lorsque la personne sort du champ d'un détecteur SPIRIT, il est pris en charge par le détecteur voisin concerné (Figure 9). Les SPIRIT peuvent aussi être disposés de sorte à ce que leurs champs de vue se superposent : l'intersection des faisceaux de deux

détecteurs ou plus correspond à la position exacte de l'individu. Une caméra mobile peut aussi être couplée à ce réseau de détecteurs infrarouge afin de suivre visuellement la personne au fil de son parcours couvert l'ensemble des SPIRIT, ceci sans aucun traitement d'image à exécuter. Il faut également relever que dans ce contexte, l'utilisation d'au moins deux détecteurs dont les faisceaux se croisent permet, par simple triangulation, d'évaluer la position de la personne qui se déplace dans leurs champs d'observation.

5 Conclusion

Cet article présente un nouveau détecteur infrarouge passif permettant de connaître les coordonnées angulaires d'un individu ainsi que le temps correspondant à la traversée de chaque faisceau. Nous avons décrit une application de suivi automatique vidéo avec levée de doute par analyse de l'image : ceci constitue donc un nouveau type de double détecteur volumétrique pour la surveillance de grandes aires extérieures ou intérieures. L'article décrit ensuite la mise en réseau de détecteurs SPIRIT sans fils qui fournit une nouvelle solution pour la surveillance extérieure à un coût impossible à concurrencer avec les détecteurs actuels, sachant que ce réseau de SPIRIT permet le positionnement et le suivi de la personne.

Pour améliorer le détecteur SPIRIT, des études sont en cours sur l'utilisation de la topologie mathématique afin de délimiter les frontières de détection de chacun des faisceaux infrarouges, ainsi que le traitement du signal sur les données analogiques des capteurs pyroélectriques afin de déterminer la distance entre les détecteurs et la source.

Bibliographie

- [1] M. Black and A. Jepson, *A Probabilistic Framework for Matching Temporal Trajectories: Condensation-Based Recognition of Gestures and Expressions*. In European Conference on Computer Vision, 1998.
- [2] J-F. Gobeau, *Détecteurs de mouvement à infrarouge passif*. 5ème Colloque Capteurs, Bourges, 2006.
- [3] M. Greiffenhagen et al., *Statistical modeling and performance characterization of a real-time dual camera surveillance system*. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2000.
- [4] INPI, *Procédé et système pour la détection d'un individu au moyen de capteurs infrarouges passifs*. www.inpi.fr, FR2895123, 2007.
- [5] B. Menser and M. Brunig, *Face detection and tracking for video coding applications*. In 34th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, California, USA, 2000.
- [6] M. Philip et al., *A Real-time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters*. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997.