

→ J. Marsot, J.P. Buchweiller,
J. Ciccotelli, Département
Ingénierie des équipements
de travail, Centre de Lorraine,
INRS, Vandœuvre-Lès-Nancy

Détection de personnes en zone dangereuse

Apports et difficultés de la vision industrielle

→ J. Marsot, J.P. Buchweiller, J. Ciccotelli, Département Ingénierie des équipements de travail, Centre de Lorraine, INRS, Vandœuvre-Lès-Nancy

Détection de personnes en zone dangereuse

Apports et difficultés de la vision industrielle

PRESENCE DETECTION IN HAZARDOUS AREAS

ADVANTAGES AND DIFFICULTIES OF INDUSTRIAL VISION

Reaching industrial maturity at the start of the 1990s, digital vision at the time aroused a lot of interest in the field of hazardous-area safety (machinery, robots, etc.). However, the technique was never applied in this domain as the constraints and limitations were deemed insuperable in terms of the requirements linked to this type of application. The advances made in this technique mean that today for the first time some manufacturers envisage using it for presence detection in hazardous areas. After a brief overview of the interest of presence detection devices in the field of occupational risk prevention, this article goes on to present both the potential benefits of industrial vision techniques in the area of human safety and the main difficulties inherent to the design of such presence detection.

● hazardous area ● detection device ● presence detection ● digital vision

Parvenue à maturité industrielle au début des années 1990, la vision numérique a suscité à cette époque un vif intérêt dans le domaine de la sécurisation de zones dangereuses (machines, robots, etc.). Toutefois, cette technique n'a jamais été appliquée à ce domaine tant les contraintes et limitations étaient jugées insurmontables vis-à-vis des exigences liées à ce type d'application. L'évolution de cette technique fait qu'aujourd'hui plusieurs fabricants envisagent pour la première fois de la mettre en œuvre, pour assurer la fonction de détection de personnes dans des zones dangereuses. Après un bref rappel sur l'intérêt des dispositifs de détection de personnes dans le domaine de la prévention des risques professionnels, cet article présente d'une part, les apports potentiels des techniques de vision industrielle dans le domaine de la sécurité des personnes et d'autre part, les principales difficultés inhérentes à la conception de tels dispositifs de détection de personnes.

● zone à risque ● dispositif de détection ● détection de personnes ● vision numérique

1. Intérêt des dispositifs de détection de personnes en prévention

En prévention technique des machines et systèmes de production, on représente schématiquement la chaîne des évènements

conduisant à l'accident par une suite de conjonctions telle que représentée par la *figure 1*. Une machine, de par les énergies en présence (de nature électrique, thermique, cinétique,...), est considérée comme étant une entité dangereuse. Associer à ce sous-système technique, une présence humaine implique la survenue de situations potentiellement dangereuses.

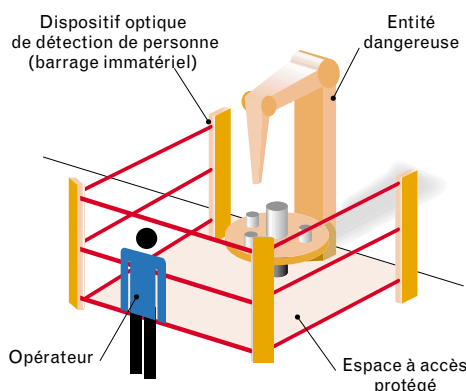
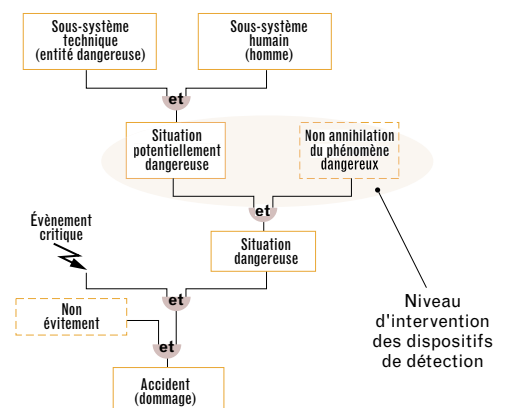


Fig. 1. Chaîne des événements conduisant à l'accident - Chain of events leading to the accident



Toute situation potentiellement dangereuse ne conduit pas pour autant au dommage. Encore faut-il que l'enchaînement des différentes étapes soit conditionné par d'autres facteurs : persistance de phénomènes dangereux, apparition d'événements critiques, non-possibilités d'évitement.

Les dispositifs de détection de personnes permettent de réguler, en la limitant ou en l'autorisant sous certaines conditions, toute présence humaine dans une zone réputée dangereuse (pièces en mouvement par exemple) ; si l'homme venait à pénétrer dans une telle zone, sa présence serait immédiatement détectée et le phénomène dangereux annihilé (arrêt des mouvements, mise en repli, etc.). Le dispositif de détection agit donc relativement en amont des mesures de prévention, en empêchant qu'une situation potentiellement dangereuse ne se transforme en situation dangereuse.

Il contribue à ce que l'homme évolue dans un espace préalablement défini comme étant une zone protégée (ou à accès protégé).

Se posent alors plusieurs problèmes :

- celui de bien détecter l'homme, à tout coup et sans le confondre avec des intrus d'autre nature (objet technique en mouvement, perturbation liés à l'environnement),
- lui conférer un espace de travail sûr (zone protégée) mais aussi adapté à sa tâche en lui laissant notamment une certaine liberté de mouvement et en rendant cet espace évolutif.

Aucun des dispositifs développés depuis 20 ans n'apporte de réponse satisfaisante vis-à-vis de l'ensemble de ces problèmes, qu'il s'agisse de dispositifs opto-électroniques (cellules, barrages immatériels, lasers, etc.) ou de dispositifs sensibles à la pression (tapis, bords, planchers sensibles). Ces dispositifs détectent l'homme de façon sûre mais aussi tout type d'intrus dans leur champ. Rigides, du fait de leurs caractéristiques géométriques figées, ils disposent d'une adaptativité limitée en matière de configuration de zones protégées [Vautrin, 1991 ; Reinert et coll., 1996 ; Ciccotelli, 1997].

Les progrès accomplis dans le domaine des systèmes de vision numérique, tant sur le plan des capteurs que des capacités de traitement de l'information et de la diminution des coûts des composants, laissent entrevoir des possibilités de concevoir des dispositifs de détection de per-

sonnes basés sur cette technologie [Industrial, 2000]. Dans des secteurs d'applications déterminés, de tels dispositifs sont d'ailleurs déjà en place (cf. § 3.1).

2. Vision numérique

La vision numérique est une discipline dont les toutes premières bases ont été élaborées dans les années 1960 pour analyser les images de traces de particules dans des chambres à bulles [Jolion et coll., 2000]. Le premier modèle pour le traitement et la représentation de l'information visuelle a été établi vers la fin des années 70 [Marr, 1982].

Depuis, ce domaine n'a cessé de se développer, passant du traitement des images numériques à celui de l'analyse puis de l'interprétation d'images.

La vision numérique tire pleinement profit de la croissance en puissance de calcul des processeurs, ainsi que de la miniaturisation et de la banalisation des dispositifs d'acquisition. De nombreuses applications se sont donc développées, notamment dans le secteur industriel [Wailly, 2001 ; Pitas, 2000 ; Billingslay, 2000] où l'intérêt des systèmes de vision a été perçu très tôt pour remplacer l'œil humain dans des tâches répétitives et/ou difficiles telles que :

- l'identification et la localisation d'objet,
- le guidage en continu de machines,
- l'inspection de pièces,
- le contrôle de la qualité, etc.

C'est ainsi qu'une nouvelle discipline est née : la visionique. Les systèmes de vision numérique dédiés à l'industrie ont été désignés par les termes « machine de vision » ou encore « automate de vision ».

« Une machine de vision ou automate de vision est une machine informatique dédiée, composée d'un ou plusieurs capteurs de vision, d'une chaîne de numérisation, de processeurs spécialisés, et d'un ensemble de logiciels et qui est destinée à se substituer totalement ou partiellement à l'homme dans une tâche où il utilise son sens visuel [Laurgeau et coll., 1985] ».

La finalité de ces dispositifs de vision industrielle est d'extraire d'une information de dimension infinie qu'est une image en mouvement, une information généralement de type tout ou rien : « présence ou absence », « bon ou mauvais », etc. (fig. 2). L'objectif des concepteurs de ces disposi-

tifs est donc de réduire la quantité d'informations à traiter, en éliminant celles qui sont inutiles pour ne garder que celles qui sont pertinentes pour le problème de détection posé.

Par ailleurs, cette information lumineuse est par nature trop riche (en quantité) pour pouvoir être traitée telle quelle par les différents éléments matériels et logiciels des dispositifs de vision. On observe donc de fait une réduction de la richesse du signal tout au long de la chaîne de traitement. Cette réduction commence au niveau de l'optique. Elle continue lors de l'échantillonnage et de la quantification (niveau de gris par exemple), où l'information devient de dimension finie. Elle se poursuit dans les divers traitements de pré et post-transmission etc.

Le savoir-faire des concepteurs de ces dispositifs est donc de parvenir à associer cette réduction de richesse imposée par le matériel à celle souhaitée pour la prise de décision. Cela suppose une modélisation préalable de l'entité à détecter (un objet, une personne, un mouvement, etc.). En d'autres termes, il faut définir les caractéristiques d'une image ou d'une séquence d'images qui traduisent la présence ou l'absence de ladite entité. La pertinence de cette modélisation et la qualité de la stratégie de prise de décision vont largement conditionner les performances du système final.

3. Vision et sécurité

Les premières tentatives d'utilisation des techniques de vision dans le domaine de la sécurité des machines datent du début des années 90 [Vautrin, 1991 ; Motamed, 1992 ; Harvey, 1994 ; Abdallah et coll., 1995]. Ces tentatives n'ont malheureusement pas connu de réel succès industriel, du fait que les systèmes de vision de l'époque n'avaient ni la rapidité, ni la fiabilité suffisante et que leur coût restait trop élevé par rapport aux dispositifs de protection conventionnels (barrage immatériel, tapis sensible, dispositif à balayage, etc.). Par ailleurs ces tentatives n'étaient en fait que de « simples » applications fonctionnelles des techniques de vision sans une réelle prise en compte des contraintes de sûreté de fonctionnement applicables à ce type de dispositif de protection.

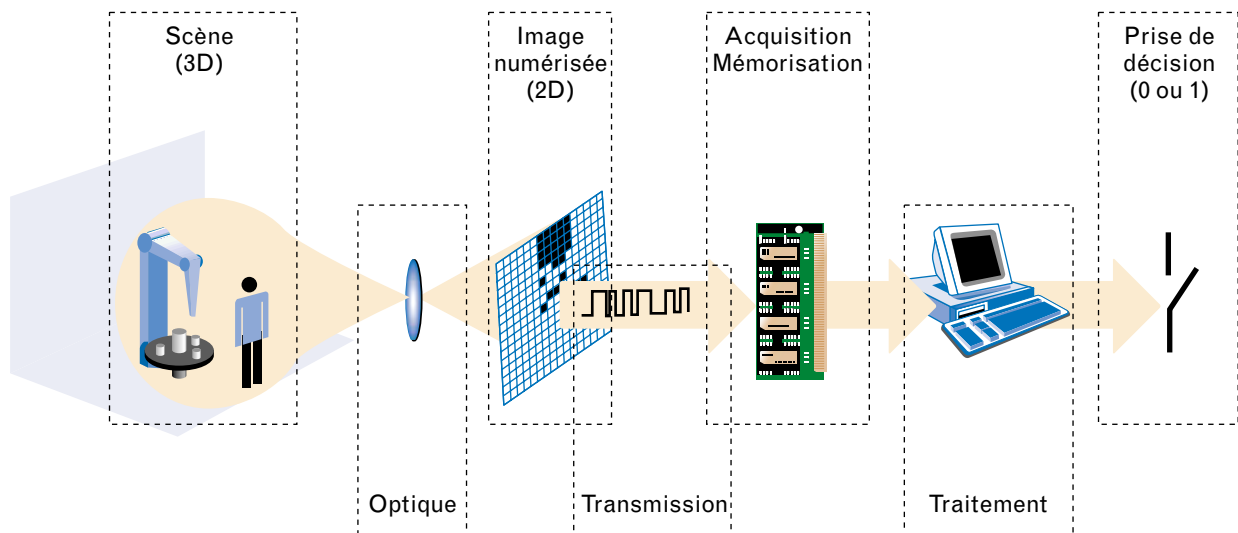


Fig. 2. Décomposition simplifiée d'un dispositif de détection par vision -
Simplified breakdown of a vision-based detection device

Les progrès accomplis ces dernières années dans le domaine de la vision numérique (amélioration des performances et diminution des coûts), laissent maintenant entrevoir la réelle possibilité de concevoir en sécurité, des dispositifs de détection de personnes basés sur cette technologie. Ils entrent, dans ce cas, dans le champ d'application de la directive n° 98/37/CE dite « Machines » [Directive, 1998] et sont, en tant que « dispositifs électrosensibles conçus pour la détection des personnes », soumis à une certification par tierce partie (examen « CE » de type) avant leur mise sur le marché ⁽¹⁾. Les prescriptions générales de conception et de performances de ce type d'équipements de protection sont définies dans la norme [EN/CEI 61496-1, 1997].

Le chapitre suivant présente de façon succincte un dispositif de détection par vision pour lequel l'INRS a délivré, sur la base des spécifications techniques définies pour les dispositifs de protection électrosensibles du type 2 selon EN/CEI 61496-1, une attestation d'examen CE de type ⁽²⁾. Il est intéressant de noter que ce dispositif est l'un des premiers, si ce n'est le premier, dispositif de vision à obtenir une telle attestation.

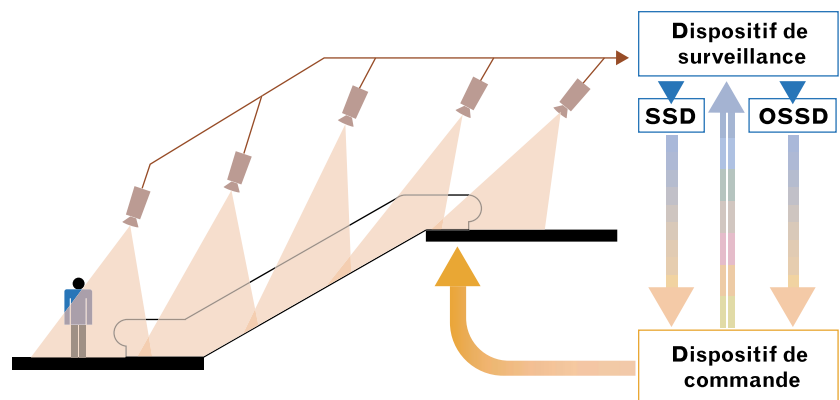


Fig. 3. Système VSD (Safety Video Detector) (avec l'autorisation de la Sté CNIM) -
Safety Video Detector (by courtesy of the CNIM company)

3.1. Un exemple d'application

Le dispositif de détection présenté est dédié aux systèmes de transport des personnes tels que les escaliers mécaniques ou les trottoirs roulants. Sa fonction de sécurité est d'interdire le démarrage ou le redémarrage automatique de ce type d'équipement de transport en cas de détection d'une présence ou d'intrusion de personnes dans leur champ de protection. La capacité de détection du dispositif est un cylindre opaque de 30 cm de diamètre et de 30 cm de hauteur [NF EN 115, 1998].

Ce système de vision dénommé VSD (Safety Video Detector) a été développé par la société CNIM [Ghibaudo, 2001]. Il comprend un ensemble de caméras dis-

posées de façon à couvrir la totalité de la zone à surveiller (figure 3). La zone observée par chacune des caméras est ensuite divisée en zones élémentaires. La répartition des luminances sur chacune de ces zones élémentaires est comparée en permanence avec une répartition de référence préalablement mesurée et enregistrée. Toute divergence notable, sur une des zones, entre les valeurs mesurées en direct sur l'image courante et les valeurs de référence entraîne une commutation du relais de sortie (OSSD) du VSD.

Afin d'assurer la disponibilité de la fonction de sécurité du dispositif en cas de variations de l'éclairage de la zone de détection, les valeurs de référence de la répartition des luminances sont remises à jour automatiquement.

⁽¹⁾ En l'absence de norme européenne harmonisée portant présomption de conformité.
⁽²⁾ Attestation n° 0070 510 0258 01 01 du 11 janvier 2001.

Le niveau de sécurité revendiqué pour ce dispositif (type 2), repose essentiellement sur son architecture logicielle et sur l'exécution, de façon systématique ou cyclique, de différents tests internes couvrant l'ensemble de la fonction de détection (acquisition, traitement d'images et prise de décision). L'exécution de ces tests est répartie dans le temps de manière à ne pas nuire au temps de réponse du dispositif. La période d'exécution de chaque contrôle est adaptée en fonction de la criticité de l'élément contrôlé.

Cette première expérience de validation d'un dispositif de sécurité intégrant des techniques de vision, nous a permis de mieux cerner les principales difficultés liées à la conception, à la validation et à la mise en œuvre d'un tel système dans un environnement industriel.

3.2. Problématique

Une première difficulté pour concevoir un dispositif de vision numérique capable de détecter de façon sûre tout ou une partie de personne en zone dangereuse, tient au fait que la plupart des éléments constituant un dispositif de vision numérique « catalogue »⁽³⁾ ont été conçus pour satisfaire la perception visuelle humaine. Pour ces dispositifs, le but est considéré comme atteint lorsque l'image, interprétée par le système visuel humain, est suffisamment représentative de la réalité de la scène originale (cf. télévision).

⁽³⁾ A l'inverse, les systèmes dits « propriétaires » sont exclusivement développés et dédiés à une application particulière.

De ce fait, ils ne traitent et/ou ne transmettent que les informations suffisantes pour entretenir l'illusion du réel, au besoin en les modifiant quelque peu ou éventuellement en y ajoutant quelques informations fictives nécessaires au camouflage de défauts trop visibles. Les difficultés liées à la présence de ces traitements (fig. 4) tiennent au fait qu'ils ne sont pas toujours complètement identifiés et qu'ils ne se contentent pas de filtrer certains défauts particuliers mais, dans bien des cas, ils ajoutent aux données « réelles » certaines informations calculées afin d'améliorer la qualité de l'image pour le système œil/cerveau. La « réalité » des pixels s'en trouve donc affectée !

A titre d'exemple, la correction de « masking » fait partie des traitements destinés à améliorer l'image pour mieux satisfaire la perception visuelle humaine. Ce traitement numérique permet de passer de l'espace colorimétrique de la scène réelle qui est étendu, à celui de synthèse (tube récepteur) qui est plus réduit. Il reconstitue entre autre une partie des courbes RVB que les séparateurs optiques ne permettent pas d'obtenir (fig. 5).

La conséquence est lourde pour les systèmes de détection de personne de sécurité mettant en œuvre des techniques de vision car, ils reprennent (souvent tels quels pour des raisons de coût !) les premiers éléments de la chaîne des systèmes de vision « catalogue ». On peut donc légitimement se poser la question de la représentativité des informations sur lesquelles vont reposer les traitements conduisant à la décision finale de détection de présence.

Une deuxième difficulté tient au fait que la conception d'un système de détection par vision présuppose que l'on est capable d'identifier dans une image (ou une

Fig. 4. Exemple des traitements effectués dans une caméra numérique - Example of the processing carried out in a digital camera

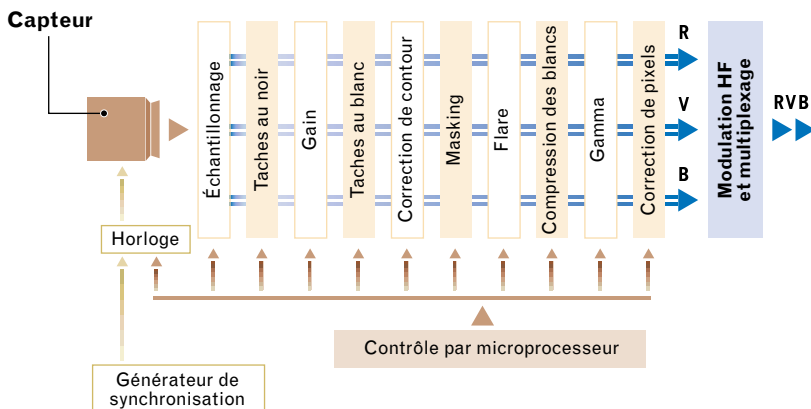
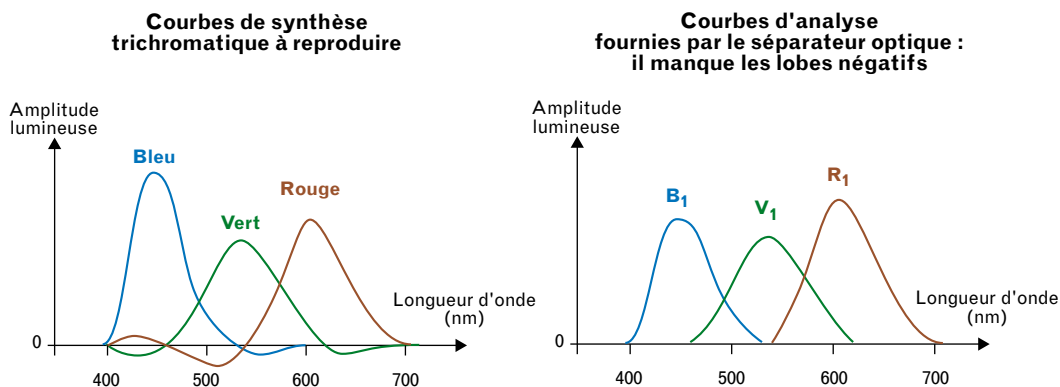


Fig. 5. Correction de masking [Bellaïche, 2000] - Masking correction



séquence d'images), une ou plusieurs caractéristiques (dimensions, forme, texture, couleur, mouvement, etc.) qui traduisent la présence ou l'absence de l'entité à détecter. Or dans le cas qui nous intéresse, l'objet de la détection, l'homme, peut apparaître sous de multiples formes et ce dans un environnement industriel susceptible de varier fortement (variations de l'éclairage d'une scène ou partie de scène, reflets de lumières sur des surfaces réfléchissantes, ombres de personnes ou d'objets circulant au dehors des zones surveillées, etc.). Une telle diversité s'accommode a priori mal avec une modélisation simple pour la définition de ces caractéristiques.

Toutefois, la présence d'un intrus quelconque dans une scène induit des changements du fond de l'image observée, qui peuvent être prévisibles si ce fond présente un aspect spécifique (fig. 6). Cette stratégie de détection, qui consiste à rechercher la disparition d'une texture connue au lieu de l'apparition d'une entité imprévisible, a été très tôt identifiée comme l'une des plus prometteuses pour ce type d'application [Motamed, 1992 ; Paris, 1990]. Les techniques généralement utilisées pour ce type de détection en temps réel relèvent généralement de la comparaison d'informations courantes par rapport à des informations de référence. Se pose alors le problème de l'obtention d'une référence valide et, si nécessaire, de sa réactualisation afin de prendre en compte certaines évolutions de la zone observée (variations lentes de luminosité par exemple). En effet, une référence faussée peut conduire non seulement à des détections intempestives mais également à des cas de non-détection d'une personne en zone dangereuse (perte de la fonction de sécurité). Par ailleurs, les algorithmes utilisés, tant pour la recherche des caractéristiques que pour la prise de décision, ne doivent pas être trop « gourmands » en temps de calcul, afin que le temps total de traitement d'un tel dispositif soit compatible avec les temps de réponse acceptables dans le domaine de la sécurité des machines (quelques dizaines de millisecondes).

Une troisième difficulté tient au fait qu'un système de vision met nécessairement en œuvre des composants électroniques complexes dont les modes de défaillances sont, par principe, hautement imprévisibles. En d'autres termes, depuis la défaillance d'un relais de sortie, jusqu'à l'impossibilité de réécrire dans une case mémoire en passant par la défaillance de

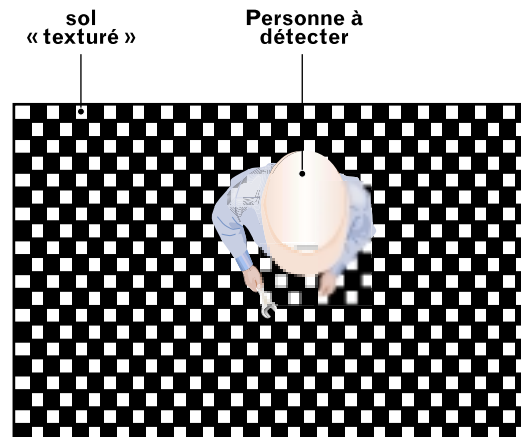


Fig. 6. Illustration d'une disparition de texture suite à l'intrusion d'une personne -
Illustration of the disappearance of a texture element following human intrusion

pixels, toutes les défaillances imaginables doivent être envisagées et traitées de façon à ce qu'elles ne conduisent pas à une perte de la fonction de sécurité.

Les techniques à mettre en œuvre pour détecter et traiter ces défaillances de composants électroniques complexes sont maintenant connues [CEI 61508, 1998 ; STARCES, 2000 ; Charpentier, 2000]. En ce qui concerne l'évitement des défaillances systématiques, celles-ci étant spécifiques au principe de détection, de nouvelles méthodes devront être développées et ce, tant pour la conception que pour la validation de ces dispositifs.

Il est intéressant de remarquer que la stratégie de détection, qui consiste à rechercher, par comparaison d'informations courantes à des informations de référence, la disparition d'une texture connue, contribue à réduire l'effet des défaillances aléatoires sur la fonction de détection.

Enfin, il ne faut pas négliger l'aspect économique, qui est souvent l'un des premiers facteurs pris en compte par les industriels même si, à performance égale, les prix des systèmes de vision baissent régulièrement.

Face à cette problématique, faut-il pour autant renoncer à introduire ces techniques dans les composants de sécurité ? La réponse est certainement non ! En effet, pour de nombreuses applications de sécurité non encore totalement résolues avec les moyens de protection actuels, les systèmes de vision représentent, du fait de leurs performances potentielles, un des éléments de réponse.

4. Conclusion et perspectives

Par rapport aux dispositifs de détection de personnes actuels, un des principaux avantages des techniques de vision est sans aucun doute leur plus grande adaptativité en matière de configuration. De ce fait, l'espace protégé pourra être plus facilement adapté à la tâche des opérateurs. L'ergonomie des postes de travail s'en trouve donc améliorée sans pour autant en diminuer le niveau de sécurité.

Un autre avantage potentiel de la vision devrait être une meilleure discrimination « homme/objet » du fait de la richesse des informations traitées.

Toutefois, dans le domaine des rayonnements lumineux, et notamment dans la bande de fréquence exploitée par les systèmes de vision industriels (champ visible), l'homme n'émet pas de rayonnement caractéristique. De ce fait, on exploite son aptitude à perturber le champ de détection, aptitude que possèdent également la plupart des objets présents dans son environnement. Par ailleurs, les contraintes de coût associées aux fortes exigences de sécurité ne favorisent pas encore l'utilisation de techniques sophistiquées (imagerie 3D et/ou infrarouge par exemple) qui pourraient pallier la non-pertinence des informations délivrées par la partie capteur d'un système de vision classique. En conséquence, il est vraisemblable que les premiers systèmes de détec-

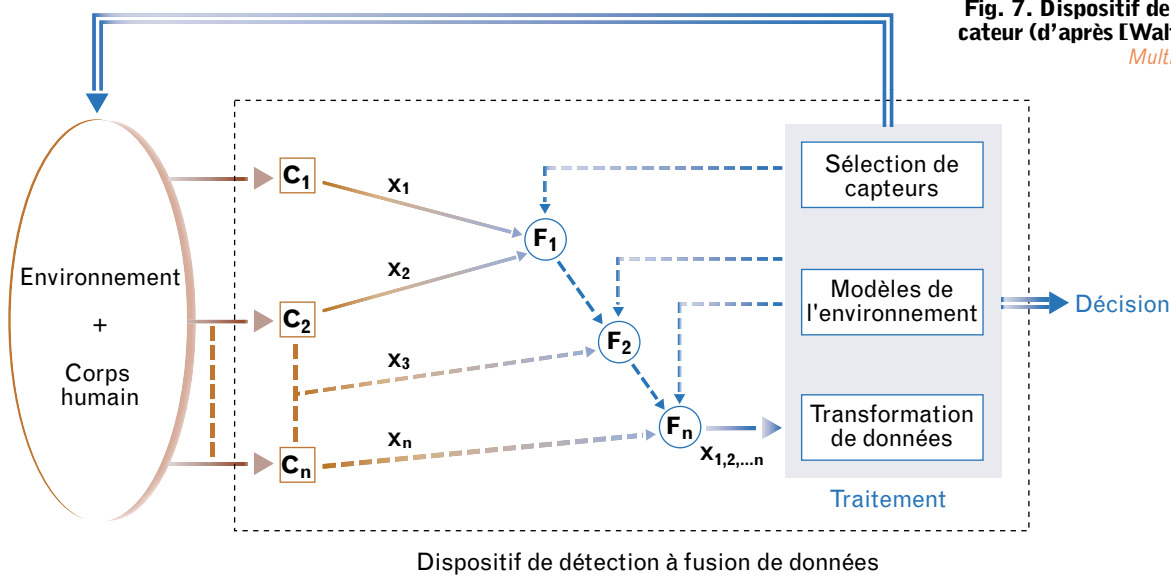


Fig. 7. Dispositif de détection multi-capteur (d'après [Waltz et coll., 1990]) - Multisensor detection device

tion de personnes par vision mis sur le marché ne permettront pas encore une réelle discrimination « homme/objet ».

Étant donné qu'aucun domaine de fréquence pris isolément ne peut constituer à lui seul un discriminant du corps humain, nous jugeons que d'autres voies méritent également être explorées, comme l'approche multicapteurs associée

aux techniques de « fusion de données » [Waltz et coll., 1990]. Selon cette approche, la prise d'information est assurée par une série de capteurs C_i (au moins deux) basés sur des principes physiques différents (données multisensorielles). Les signaux de sortie X_i sont « fusionnés » au sein de nœuds F_i ; l'information élaborée s'enrichit ainsi de données capteurs complémentaires (fig. 7).

L'intérêt de ce type de processus réside dans la complémentarité et la redondance des informations extraites.

Avec l'apparition de nouveaux dispositifs de détection, objets actuellement d'intenses travaux, le développement de ces processus devrait naturellement s'imposer.

BIBLIOGRAPHIE

ABDALLAH A., MOTAMED C., SCHMITT A. – New approach for a vision based safety device in uncontrolled robotics environments. *SPIE*, 2511, 1995, pp. 174-181.

BELLAÏCHE P. – Les secrets de l'image vidéo (3^e éd). Paris, Eyrolles, 2000, 374 p.

BILLINGSLAY J. – Mechatronics and Machine Vision. England, Research studies Press LTD, 2000, 370 p.

CEI 61508 – Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques, électroniques, électroniques programmables relatifs à la sécurité. Genève, CEI, Parties 1 à 7, 1998 à 2000.

CHARPENTIER Ph. – Comment construire les tests d'un logiciel. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 2000, 181, pp. 65-77.

CICCOTELLI J. – Vers des machines et systèmes plus sûrs – Quelques perspectives de recherches et de développement. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 1997, 166, pp. 189-200.

Directive n° 98/37/CE du 22 juin 1998. – Rapprochement des législations des états membres relatives aux machines. *Journal Officiel des Communautés européennes*, n° L 207 du 23 juillet 1998, 46 p.

EN/CEI 61496-1 – Sécurité des machines. Équipement de protection électrosensibles – Partie 1 : Prescriptions générales et essais. Bruxelles, CENELEC, mars 1997, 96 p.

GHIBAUDO G. – Safety Video Detector, secured camera detection system and method for mechanical system control. In : *Proceedings of the 2nd International conference Safety of Industrial Automated Systems*. Bonn, BIA, pp. 289-295.

HARVEY D. N. – Intelligent image processing for machine operator safety. Bellingham (USA), SPIE, 2298, 1994, pp. 286-289.

Industrial – Vision systems for Machines Safety. *Industrial Technology*, mars 2000, 2 p.

JOLLION J. M., BASILLE J.L., GARBAY C. et Coll. – Les systèmes de vision. Paris, HERMES, 2000, 367 p.

LAURGEAU C., PARENT M. – Les machines de vision en productive. ETA, France, 1985, 271 p.

MARR D. – Vision : a computational investigation into the human representation and processing information. New-York, W. H. Freeman, 1982, pp. 29-61.

MOTAMED C. – Application de la vision artificielle à la sécurité en robotique. Thèse de doctorat de l'Université Technologique de Compiègne, 1992, 152 p.

NF EN 115 – Règles de sécurité pour la construction et l'installation des escaliers mécaniques et trottoirs roulants. Paris, AFNOR, 1998, 74 p.

PARIS J.P. – Sécurité d'accès active à un robot par système de vision. In : *Journées techniques sur les dispositifs électroniques sensibles*. Vandœuvre, INRS, 1990, Partie 2, pp. 17-32.

PITAS I. – Digital Image Processing Algorithms and Applications. New-York, John Wiley and Sons, 2000, 419 p.

REINERT D., BÖMER T. – Modern Sensors as Protective Devices for the Safety of Machinery. In : *Third EUROLAB symposium*, 1996, Berlin, pp. 215-224.

STARCES – Standards for Safety Related Complex Electronic Systems – Final report. European Commission, DG XI, Contract SMT 4CT97-219, 2000, 138 p.

VAUTRIN J. P. – Protection du personnel par dispositifs électroniques sensibles. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 1991, 142, pp. 21-39.

WAILLY T. – L'irrésistible ascension de la vision industrielle. *J'Automatise*, 2001, 16, pp.10-13.

WALTZ E., LLINAS J. – Multisensors data fusion. Norwood (USA) Artech House Inc., 1990, 464 p.