



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
14.01.1998 Bulletin 1998/03

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **G08B 17/12**

(21) Numéro de dépôt: **97420115.4**

(22) Date de dépôt: **11.07.1997**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE**

- **Lebre, Thierry**  
69008 Lyon (FR)
- **Poggi-Tomasi, Paul**  
20133 Ucciani (FR)

(30) Priorité: **12.07.1996 FR 9609030**

(71) Demandeur: **T2M Automation**  
69500 Bron (FR)

(74) Mandataire: **Bratel, Gérard et al**  
**Cabinet GERMAIN & MAUREAU,**  
12, rue Boileau,  
BP 6153  
69466 Lyon Cedex 06 (FR)

(72) Inventeurs:  
• **Guarna, Michel**  
69720 Bonnet de Mure (FR)

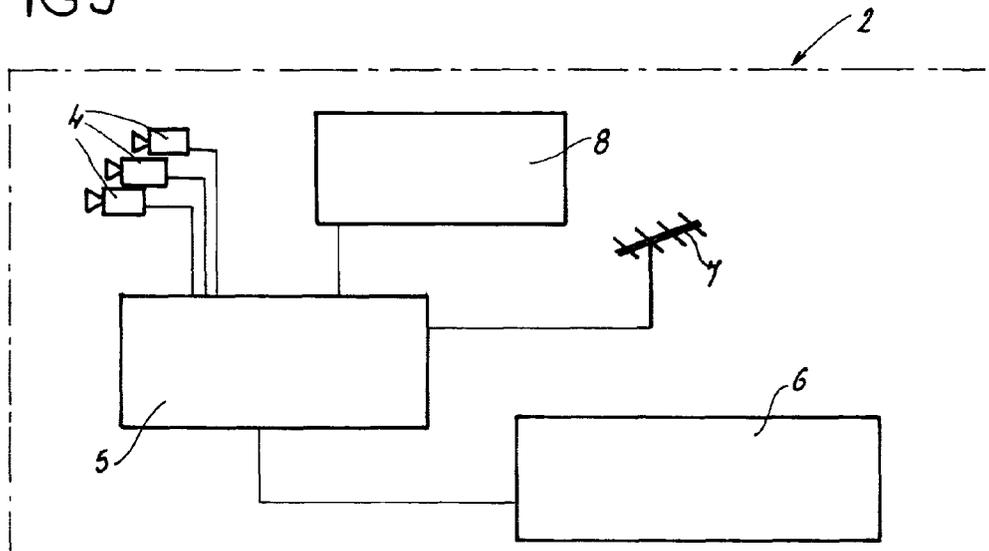
(54) **Procédé de détection automatique de feux, notamment de feux de forêts**

(57) Le procédé consiste à effectuer un traitement sur des séquences d'images fixes d'un paysage, obtenues par au moins une caméra vidéo (4) dans le spectre visible, pour détecter et localiser un éventuel foyer de fumée. Ce procédé comprend la reconnaissance, dans un premier temps, d'une petite zone de pixels présentant des variations temporelles de niveaux de gris par-

ticulièrement de basse fréquence, suivie de l'analyse de cette zone pour vérifier la présence d'indices de bruit, de décorrélation et de chaoticité spatio-temporelle élevées. La mise en oeuvre s'effectue au moyen de dispositifs de détection (2) autonomes, implantés sur l'étendue à surveiller.

Application à la lutte contre les feux de forêts.

**FIG 3**



## Description

L'invention concerne un procédé de détection automatique de feux, notamment de feux de forêts, basé sur la reconnaissance de fumées à partir d'au moins une d'une caméra vidéo, en particulier du type CCD, opérant dans le spectre visible. Ce procédé permet de détecter au plus vite un départ de feu, même d'étendue limitée (par exemple inférieure à 4 m<sup>2</sup>), qu'il soit directement visible ou masqué par le relief et ceci de jour comme de nuit.

La détection des feux de forêt fait partie intégrante de la lutte contre les feux. En effet, l'avertissement précoce d'un départ de feu permet de limiter l'importance des moyens à mettre en oeuvre pour maîtriser ces feux.

Les moyens généralement utilisés pour la détection des feux de forêt sont :

- la surveillance des zones à risque par des vigies: elle demande un grand nombre d'opérateurs qui sont d'effectifs non disponibles pour la lutte sur le front;
- le survol de ces zones par des moyens aériens : l'utilisation des moyens aériens (avions, hélicoptères) est très coûteuse, de plus, son efficacité n'est pas très intéressante. En effet, le survol consiste à parcourir un itinéraire précis dans un temps établi, l'avion ou l'hélicoptère sera dans la plupart des cas éloigné du départ de feu.

Des systèmes de détection automatique ont déjà été proposés, sans succès.

Ces systèmes comprennent, d'une part, des procédés de détection utilisant des caméras thermiques (voir par exemple les documents FR-A.2575572 et FR-A-2643173). De tels systèmes travaillent en général dans le spectre infra-rouge, pour détecter des points chauds causés par les flammes. Cette technique a pour inconvénients le coût élevé des caméras thermiques et son inefficacité pour les feux dont les foyers sont masqués par le relief. D'autre part cette méthode de détection est perturbée par la présence de points chauds "naturels", tels que véhicules et reflets solaires.

On connaît aussi, par le document FR-A-2696939, un procédé de détection automatique de feux de forêt basé sur la détection de la fumée créée par un départ de feu, la détection de la fumée étant elle-même réalisée par la reconnaissance de mouvements des volutes de fumée. Un tel procédé possède lui aussi plusieurs inconvénients :

Premièrement, la détection des fumées basée sur la reconnaissance du mouvement de volutes a l'inconvénient de nécessiter un système à très grande résolution spatiale, donc une grande puissance de calcul. En particulier la détection du mouvement des volutes d'une fumée lointaine couverte par quelques pixels, par exemple 2x2 ou 3x3, est quasiment impossible à différencier d'un phénomène local fixe comme par exemple le mou-

vement d'un arbre, ou un groupe de personnes, ou toute autre activité.

Deuxièmement, la reconnaissance de fumée par le mouvement suppose des volutes suffisamment épaisses. Or un départ de fumée consiste au contraire en l'émission de fumée peu épaisse, car créée par la végétation très sèche, puis suivie plus tardivement par des fumées plus épaisses

Troisièmement, ce genre de procédé fait souvent appel au stockage d'une image de référence sans fumée: la détection du mouvement est obtenue par soustraction de l'image de référence avec l'image en cours pour mettre en évidence les déplacements des zones. Cette méthode se heurte à de multiples problèmes et en particulier ceux engendrés par des variations continues d'éclairement causées par des passages nuageux.

Quatrièmement, ce procédé ne permet pas la détection de nuages de fumée complexes : les effets conjugués de diffusion de matière dans l'espace, d'un foyer entrevenu localement et enfin des vents, engendrent un phénomène complexe qui rend difficile toute caractérisation de la fumée par extraction de mouvement. Par exemple, un départ de feu par temps relativement calme ne produit pas de mouvement apparent. En revanche, par vent violent, les volutes produites ont souvent des mouvements instables, multiples et très difficilement identifiables.

La présente invention vise à éviter tous ces inconvénients, et elle propose ainsi un procédé qui est remarquable notamment par le fait qu'il permet de détecter un éventuel foyer de fumée encore peu épaisse, pour une détection précoce, et qu'il est capable de différencier la fumée de tout autre phénomène local.

A cet effet, le procédé de détection automatique de feux, notamment de feux de forêts, objet de l'invention, consiste essentiellement à effectuer un traitement de séquences d'images fixes obtenues par la ou les caméras dans le spectre visible, pour détecter et localiser un éventuel foyer de fumée, la détection d'un tel foyer consistant :

- à rechercher dans un premier temps dans les images au moins une petite zone de pixels représentant des variations temporelles de niveaux de gris particulièrement de basse fréquence,
- puis à analyser la ou chaque zone reconnue ainsi par des moyens de mesure du taux de décorrélation temporelle des pixels appartenant à cette même zone.

De préférence, pour "compresser" l'image générale du paysage prise par la caméra l'on sélectionne, pour la recherche de la ou chaque petite zone précitée, des pixels qui présentent, en ce qui concerne les variations temporelles de leurs niveaux de gris, des fréquences comprises entre 0,3 et 0,1 Hz.

De préférence, le procédé consiste à rechercher dans les images une petite zone de pixels présentant

des variations de niveaux de gris particulièrement chaotiques, par des moyens de mesure d'indice de chaoticité spatio-temporelle de différentes zones de pixels dans l'image.

Ainsi, le procédé de l'invention se distingue des procédés basés sur la détection de mouvements quelconques par le fait qu'il repose sur l'analyse de la complexité spatio-temporelle d'objets quasi-immobiles produisant des variations de niveaux de gris locales. En particulier, tout objet produisant des variations de niveaux de gris pouvant être analysées simplement en tant que mouvement de matière est rejeté par le procédé en tant que parasite. En effet, le principe du procédé de l'invention consiste à reconnaître la fumée en tant que phénomène induisant dans une zone bien déterminée du paysage un bruit ou un chaos spatio-temporel très important, contrairement à tous les autres phénomènes locaux.

Le chaos spatio-temporel se traduit par le fait que la fumée introduit dans la zone de pixels qu'elle couvre des variations temporelles des niveaux de gris qui sont presque aussi diverses que celles produites par un bruit aléatoire, mais qui se distinguent d'un tel bruit parce qu'elles sont caractéristiques d'un objet dynamique fractal. La structure fractale d'un objet est généralement connue comme étant de nature purement spatiale, ou purement temporelle, mais elle peut également être spatio-temporelle, et sa mise en évidence permet de la différencier de celle d'un bruit ou au contraire de celle d'un phénomène organisé.

La détection d'un tel objet dans un paysage permet d'affirmer qu'il y a présence de fumée, parce que les bouffées dont elle est constituée qui se diffusent tout en ayant un déplacement instable, créent un phénomène qui cumule de façon unique l'ensemble des propriétés suivantes:

- 1) une grande diversité des différences de niveaux de gris entre les pixels couverts par la fumée, qui se répartissent dans le temps comme le ferait un bruit aléatoire,
- 2) un degré de chaoticité élevé de la zone de pixels concernée, dont la mise en évidence permet de la dissocier d'un bruit aléatoire.
- 3) une décorrélation temporelle élevée des signaux temporels de la plupart des couples de pixels de la zone concernée, de préférence dans les basses fréquences.
- 4) une nette prépondérance de basses fréquences, de l'ordre de 0,1 Hz, sur les hautes fréquences (supérieures au Hz) généralement causées par du bruit électronique.

Le chaos spatio-temporel engendre en effet généralement une large gamme de fréquences temporelles proche de celles induites par un mouvement brownien, dont le spectre temporel est celui du bruit blanc. Contrairement au bruit purement électronique, ce bruit se caractérise par le fait qu'il contient plus de basses fré-

quences. Dans le cas de la fumée, les basses fréquences de l'ordre de 0,1 Hz sont encore plus marquées.

Ceci est illustré par la figure 1 du dessin annexé, dont les courbes successives représentent, de haut en bas :

- courbe A : l'évolution temporelle d'un pixel "arbre en mouvement sous l'effet du vent"
- courbe B : l'évolution temporelle d'un pixel "autoroute"
- courbe "C": l'évolution temporelle d'un pixel "fumée proche"
- courbe D : l'évolution temporelle d'un pixel "fumée éloignée"

(pour toutes ces courbes, les abscisses correspondent au temps exprimé en secondes, et les ordonnées au niveau de gris G.

Il est donc exploité le fait qu'il est possible et avantageux de caractériser la fumée par le fait qu'elle produit des variations locales de niveaux de gris qui sont décorrélées dans un large spectre, alors que les autres phénomènes spatio-temporels induisent des variations de niveaux de gris mieux corrélées avec leurs voisins, ou décorrélées seulement dans les hautes fréquences.

Afin de caractériser la complexité du comportement de différents ensembles locaux de pixels, le procédé consiste à effectuer un traitement qui se décompose de préférence en trois étapes:

- Premièrement, il exploite la propriété selon laquelle la fumée génère un large spectre de fréquences temporelles, avec un avantage pour les basses fréquences de l'ordre de 0,1 Hz, afin de compresser l'image en retenant uniquement les pixels dont les variations présentent un excès de basses fréquences par rapport aux hautes fréquences.
- Deuxièmement, il consiste à regrouper l'ensemble des pixels retenus précédemment en objets suffisamment disjoints dans l'espace et suffisamment stables dans le temps, pour exploiter l'hypothèse selon laquelle l'objet créé par la fumée est fixe ou très faiblement mobile.
- Troisièmement, il consiste à analyser chacune des zones identifiées par l'étape précédente, pour mesurer à l'aide d'un traitement numérique décorrélation et/ou de chaoticité.

En résumé, le procédé consiste à effectuer un traitement sur des séquences d'images fixes d'un paysage (obtenues par caméra CCD dans le spectre visible) pour identifier et localiser un éventuel foyer de fumée, caractérisé par la reconnaissance dans un premier temps d'une petite zone de pixels présentant des variations temporelles de niveaux de gris particulièrement de basse fréquence, suivie de l'analyse de cette zone pour vérifier la présence d'indices de bruit, de décorrélation et de chaoticité élevés.

Ce procédé a pour premier avantage de permettre aussi bien la détection des fumées peu épaisses que des fumées épaisses puisque les fumées peu épaisses seront dans un premier temps retenues non pas grâce à l'intensité de leurs variations de niveaux de gris mais grâce au fait qu'elles génèrent des basses fréquences.

D'autres avantages du procédé sont les suivants :

Le procédé permet la détection des fumées peu épaisses puisqu'elles sont détectées par le fait qu'elles engendrent des indices de décorrélation particulièrement élevés des variations de niveaux de gris des pixels couverts par la fumée.

La condition de faible mobilité de l'objet à détecter permet de traiter aussi bien le cas des fumées proches que le cas des fumées lointaines, dans la mesure où cette mobilité est quantifiée par rapport à la taille de l'objet et non en fonction de l'information de mouvement contenue à l'intérieur de la zone qu'elle couvre.

Le procédé permet de détecter des sources de fumées minuscules qui ne couvrent qu'un nombre très limité de pixels (4 pixels par exemple), car il analyse essentiellement la structure temporelle des niveaux de gris et peu les informations purement spatiales.

Le procédé est robuste aux multiples conditions de la détection, telles que la vitesse du vent, l'orientation du capteur, la météorologie, les particularités du paysage, le masquage du foyer par différents obstacles, etc., dans la mesure où ce procédé consiste à quantifier la complexité de l'objet et non à rechercher au contraire une structure spatio-temporelle plus ou moins définie, telle que sa forme, sa vitesse, sa couleur, etc.

Le procédé permet de caractériser la fumée en ce qu'elle produit un effet qui n'est pas induit exclusivement par des mouvements de matière, et qui est donc unique ou rare car les variations de niveaux de gris de tous les pixels d'une image sont dans la majorité des cas produits par des mouvements quelconques d'objets dans le paysage à distance variable.

Dans les cas où les zones de pixels détectées dans le paysage à l'issue de la première étape sont produites par des variations de luminosité où des reflets ne correspondant pas à des mouvements d'objets, et qui sont des parasites pour la détection de mouvement, le procédé selon l'invention permet de rejeter ces zones grâce au résultat trop faible du calcul de leurs indices de décorrélation.

Le procédé permet de caractériser la fumée quelle que soit la vitesse du vent, car les effets a priori perturbateurs du vent qui consistent à engendrer des mouvements structurés de volutes sont largement compensés par la diffusion accélérée de ces volutes qui atténue ainsi considérablement les corrélations induites par ces mouvements de volutes.

En ce qui concerne la mise en oeuvre de l'invention, les précisions suivantes peuvent être apportées:

Afin de transformer dans une première étape de prétraitement l'image du paysage en une image contenant à la place de chaque pixel une valeur fournissant

une information dynamique sur ce pixel, le procédé utilise une mémoire tampon pouvant contenir en permanence au moins les 16 dernières images. Afin de quantifier cette information dynamique selon une échelle valorisant les basses fréquences, le système calcule une combinaison linéaire appropriée des valeurs absolues de toutes les différences de niveau de gris d'un même pixel pris à des instants différents.

Avantageusement, le procédé utilise des valeurs absolues à la place de valeurs signées afin de quantifier l'évolution temporelle de chaque pixel quelle que soit la nature du fond du paysage sur lequel s'inscrit la fumée, de manière à atténuer l'influence de la luminosité du fond.

Afin d'économiser du temps de calcul, le système calcule la nouvelle transformation, pour un nouveau pas de temps (correspondant à une nouvelle acquisition d'image), en utilisant le résultat du précédent calcul, et en lui appliquant les modifications adéquates.

Afin de former différents ensembles de pixels disjoints dans l'espace et reconnaissables dans le temps, le système exploite l'hypothèse selon laquelle l'enveloppe de la fumée est très faiblement mobile. Cela permet d'éliminer des portions éventuelles de l'objet "fumée" qui se détacheraient de l'enveloppe principale .

Cette technique permet de localiser plus précisément le foyer de la fumée qui est défini comme le point le plus bas de l'enveloppe.

La dernière étape du procédé consiste à effectuer une analyse numérique de chaque objet en ayant recours à toute l'information spatio-temporelle de ses pixels qui est stockée d'une part dans la mémoire tampon globale (qui contient les 16 dernières images au moins), d'autre part dans une mémoire tampon sélective réservée aux objets afin de mémoriser leur passé plus lointain.

Cette étape consiste à mettre en oeuvre des algorithmes plus évolués et portant sur ladite information spatio-temporelle. Ce calcul est permis dans la pratique, malgré la complexité de ces algorithmes, grâce à l'énorme compression d'information issue des étapes antérieures.

Ces algorithmes permettent de calculer différentes valeurs qui quantifient d'une part le degré de désordre spatio-temporel de chaque objet, et d'autre part le degré de chaoticité de chaque objet.

Le degré de désordre est quantifié à l'aide de calculs qui permettent d'obtenir une mesure du bruit spatio-temporel de l'objet, alors que le degré de chaoticité est quantifié à l'aide de calculs qui permettent d'obtenir une mesure du taux de sensibilité de l'évolution de l'objet en fonction de faibles différences dans les niveaux de gris répétitifs de l'ensemble de ses pixels à différents instants.

La mesure du bruit spatio-temporel est décomposée en mesure du taux de décorrélation spatiale des variations des niveaux de gris, et en analyse de la répartition des différences de niveaux de gris de couples de

pixels, qui doit tendre vers une loi gaussienne conformément à la loi normale.

Les techniques numériques d'analyse fractale et de caractérisation du chaos, sont connues dans la communauté scientifique et ont fait l'objet de publications auxquelles il est fait référence.

Avantageusement, l'application de ces techniques dans le cadre de la présente invention consiste dans la combinaison complémentaire de la mesure du bruit et de la mesure du chaos qui y est pratiquée.

Le critère de détection exploite ainsi la mesure du bruit et/ou la mesure du chaos de façon préférentielle l'une par rapport à l'autre en fonction des différentes conditions de la détection. L'association des deux mesures génère en effet un certain degré de redondance car un pur bruit spatio-temporel est au moins aussi complexe qu'une fumée.

La conjugaison de ces deux mesures est rendue nécessaire à cause de la confusion possible entre un bruit de large spectre et de la fumée. Le critère basé sur la mesure du chaos est meilleur mais beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre dans certaines conditions, c'est pourquoi il doit être relayé par le critère basé sur la mesure du bruit et plus particulièrement des décorrelations entre pixels.

En particulier, l'imprécision de la mesure du degré de chaotité d'un objet spatio-temporel est plus grande dans les cas où le nombre de pixels est insuffisant, ou le bruit électronique trop important. Cette difficulté est compensée par le recours plus important à la mesure du bruit spatio-temporel qui est plus simple à calculer.

Inversement, la mesure du degré de chaotité, lorsqu'elle est praticable dans les cas préférentiels où le nombre de pixels est suffisant et le bruit électronique assez faible, permet de caractériser plus finement la présence de fumée, car elle est alors plus facilement discernable d'un phénomène produisant essentiellement du bruit, comme cela peut se produire dans le cas d'un système placé dans des conditions de détection particulièrement difficiles.

On peut citer l'exemple de l'approche de la nuit, où il existe une augmentation très importante du bruit de fond électronique par rapport à l'information. De même, certaines conditions météorologiques telles que la brume ont tendance à augmenter également le bruit de fond.

Lorsque la nuit est complètement tombée, la détection reste possible à l'aide des mêmes algorithmes, mais avec une adaptation automatique des paramètres de calcul. On exploite alors avantageusement l'éclairage de la fumée par les flammes et la diffusion du rayonnement des flammes par la fumée. Ainsi, l'analyse dans le cas nocturne n'est pas remise en cause malgré la nature différente du rayonnement, grâce au principe général du procédé qui permet d'être peu sensible aux variations des conditions de la vision.

Dans tous les cas, la plupart des objets produisant essentiellement du bruit sont éliminés dès la première

étape du procédé, grâce à la quantification qu'elle effectue de l'étalement spectral de chaque pixel qui privilégie les fréquences basses par rapport aux fréquences élevées. En effet, la grande majorité des bruits pouvant constituer des parasites sont caractérisés par un excès de hautes fréquences par rapport aux basses fréquences.

De façon générale, l'invention permet de détecter très rapidement, en un temps compris notamment entre 10 et 40 secondes, une fumée produite par un départ de feu avec une très grande fiabilité. Elle apporte ainsi une aide précieuse et indispensable à des opérateurs chargés de la surveillance de zones critiques.

En ce qui concerne l'infrastructure nécessaire à la mise en oeuvre du procédé de l'invention, celle-ci comprend au moins un dispositif de détection local, implanté sur une étendue à surveiller ou à la périphérie de celle-ci, et comprenant au moins une caméra vidéo fixe connectée à une unité de traitement autonome, qui analyse l'image de la caméra selon les modalités expliquées ci-dessus. Un ou plusieurs dispositifs de détection sont reliés à une unité centrale, située à distance. Cette dernière, équipée de moyens de visualisation pour un opérateur humain, sert de poste de contrôle et de commande, mais une caractéristique importante réside dans le fait que la détection des fumées proprement dite s'effectue de façon locale, et non pas dans l'unité centrale. Avantageusement, le poste de contrôle et de commande est prévu pour la visualisation d'une séquence d'images de la partie du paysage située autour d'un foyer détecté, ladite séquence étant visualisée à une cadence fortement accélérée par rapport à sa cadence réelle d'acquisition, ce qui facilite l'interprétation visuelle humaine du résultat brut procuré par le procédé de détection.

L'invention sera de toute façon mieux comprise à l'aide de la description complémentaire qui suit, se référant au dessin schématique annexé illustrant ce procédé de détection et ses moyens de mise en oeuvre :

Figure 2 représente une implantation des détecteurs, sur une étendue à surveiller;

Figure 3 est un schéma synoptique d'un dispositif de détection;

Figure 4 est un schéma synoptique de l'ensemble du système;

Figure 5 est un organigramme du procédé de détection;

Figure 6 est un schéma illustrant un mode avantageux de visualisation des images, pour contrôler visuellement la détection effectuée par le procédé de l'invention.

La figure 2 indique symboliquement une étendue à surveiller 1, supposée rectangulaire, sur laquelle et à la périphérie de laquelle sont implantés des dispositifs de détection 2, convenablement répartis.

Chaque dispositif de détection 2, montré sur la fi-

gure 3, comprend de une à trois caméras vidéo CCD fixes 4, installées en un même site d'observation et connectées à une unité de traitement 5 autonome, alimentée par une source d'énergie 6 et raccordée à un organe de transmission 7, en général hertzienne, de faible débit, afin de transmettre à distance des informations d'alarmes, des informations d'état du dispositif, des photos, etc...

L'unité de traitement 5, capable de prendre en charge la surveillance d'une zone sans aucune intervention humaine, reçoit les images vidéo fournies par les caméras 4 qui scrutent chacune une surface très étendue (de 500 mètres à 10 kilomètres pour un angle de 60 degrés par caméra). Typiquement la surface d'observation de chaque caméra 4 est de 30 km<sup>2</sup>, soit une surface totale de 90 km<sup>2</sup> pour un dispositif 2 équipé de trois caméras 4, tel que monté sur la figure 3.

Avantageusement, des capteurs météorologiques 8, pouvant détecter la direction et la vitesse du vent, l'hygrométrie, la température, etc... sont aussi connectés à l'unité de traitement 5, afin de disposer d'informations météorologiques locales.

Le mode d'implantation préféré, illustré par la figure 2, consiste à placer les dispositifs de détection 2 sur l'étendue à surveiller 1 de manière à recouvrir plusieurs fois chaque partie de cette étendue. Ceci est souhaitable pour résoudre les problèmes posés par les détecteurs "aveuglés" (soleil de face, brouillard,...), les détecteurs en panne, etc...

Des détecteurs complémentaires 9, orientés différemment des précédents, permettant de calculer avec une grande précision la position des feux détectés, par un principe de triangulation.

Une unité centrale 10, pouvant aussi être désignée comme poste de contrôle et de commande, et commune à un nombre relativement élevé de dispositifs de détection 2 surveillant une étendue 1 éventuellement très vaste, est reliée à tous ces dispositifs de détection 2 par un réseau de transmission 11, notamment hertzienne, comme le symbolise la figure 4. L'unité centrale 10 comprend un poste de contrôle 12 avec écran, pouvant être relié notamment à un écran gérant 13 de visualisation, à une imprimante 14, ou à tout autre équipement périphérique.

L'unité centrale 10 peut ainsi recevoir les informations et les photos émises par tous les dispositifs de détection locaux 2, chacun de ces dispositifs réalisant la détection des fumées, pour l'étendue partielle qu'il surveille, en mettant en oeuvre le procédé résumé par l'organigramme de la figure 5, et en utilisant à cet effet deux mémoires 15 et 16, désignées respectivement comme "mémoire images" et "mémoire objet".

L'unité centrale 10 est ainsi informée en permanence de l'état de chaque dispositif de détection 2. Une image du paysage vu par chaque détecteur sera disponible et rafraîchie dans un temps le plus court possible et fonction du nombre de détecteurs se partageant le même support de communication.

L'unité centrale 10 est équipée d'un programme de visualisation adapté à la gestion d'alarmes multiples de la façon suivante:

Lorsque plusieurs dispositifs de détection 2 transmettent une ou plusieurs alarmes simultanément ou successivement dans de brefs délais (c'est-à-dire lorsqu'au moins deux alarmes sont en cours d'interprétation), un écran composé des éléments suivants est présenté à l'opérateur chargé du contrôle:

- une cartographie de la région couverte par l'ensemble des détecteurs, légèrement surdimensionnée
- l'ensemble des points et des zones de surveillance
- l'ensemble des demi-droites joignant un point de surveillance au bord de l'écran orientées dans la direction du foyer faisant l'objet d'une alarme; Cette direction est calculée simplement à partir l'abscisse et de l'ordonnée du pixel du foyer dans l'image et de l'orientation du détecteur
- les coordonnées exactes d'un foyer si plusieurs demi-droites (de plusieurs détecteurs) se coupent
- l'ensemble des petits films correspondant aux images du passé récent autour de chaque foyer, visualisés à cadence accélérée dans le prolongement des demi-droites.

Cette méthode de visualisation est très avantageuse car elle fournit toute l'information nécessaire à l'interprétation d'alarmes multiples à l'aide du même écran de visualisation. Elle est originale au moins dans la mesure où elle exploite une méthode de visualisation de film originale. Cette méthode est puissante car elle permet de visualiser automatiquement les coordonnées IGN ou polaires et l'emplacement réel du foyer détecté, par intersection des demi-droites qui coupent ce foyer.

On notera que le procédé de l'invention peut, si nécessaire, être mis en oeuvre en inhibant certains points prédéfinis de l'image, qui correspondent à des foyers permanents, par exemple une cheminée d'usine.

Une conséquence avantageuse du procédé, pour son utilisation pratique, est de fournir à un opérateur humain, placé au poste de contrôle et de commande, la possibilité de contrôler visuellement l'évènement qui a provoqué la détection. Ce contrôle visuel permet à un l'opérateur de vérifier à l'aide d'une séquence d'images de la partie du paysage, située autour du foyer détecté, que le phénomène détecté est bien une fumée caractéristique d'un feu et d'estimer la gravité de l'évènement. La particularité de cette séquence d'images est d'être visualisée à un rythme très accéléré comme illustré par la figure 6. La visualisation accélérée résulte de la sélection, à partir du film réel 17 présentant une séquence d'images, de certaines images telles que la 1<sup>ère</sup>, la 11<sup>ème</sup>, la 21<sup>ème</sup>, la 31<sup>ème</sup>, etc..., pour constituer un film "accéléré" 18.

Ce processus exploite la propriété selon laquelle la visualisation à une cadence très accélérée (de l'ordre de 25 à 50 images par secondes) d'une séquence d'ima-

ges d'une fumée, permet d'améliorer la reconnaissance de la fumée, même lorsque la résolution spatiale est très faible.

Cette propriété s'explique par le fait que l'une des caractéristiques d'un objet fractal, telle que la fumée, est d'engendrer une évolution de pixels que l'on retrouvera quelle que soit l'échelle temporelle d'observation. Le signal relatif à la variation d'un pixel sur quelques secondes est similaire au signal comportant le même nombre d'échantillons temporels sur une période beaucoup plus longue (plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de secondes).

L'originalité de ce procédé de visualisation d'images repose sur le fait que cette manière de visualiser un film pour permettre la reconnaissance d'un objet, qui a pour conséquence dans le cas général de brouiller l'image de l'objet, est au contraire dans le cas précis de la fumée particulièrement efficace. Accélérer la visualisation d'une fumée lointaine revient à rapprocher cette fumée.

L'un des avantages de la visualisation accélérée est de compenser l'inconvénient d'une visualisation à cadence trop faible, telle que celle de l'acquisition par exemple, qui fait perdre à l'observateur la notion de la dynamique de la fumée.

Le principal avantage de la visualisation accélérée repose sur les propriétés d'objet fractal de la fumée qui sont de nature à expliquer pourquoi une telle visualisation a des conséquences très positives sur l'interprétation visuelle par un observateur humain. En effet, les objets fractals sont connus pour présenter les mêmes formes ou textures apparentes lorsqu'on change l'échelle spatiale de visualisation.

## Revendications

1. Procédé de détection automatique de feux, notamment de feux de forêt, basé sur la reconnaissance de fumées à partir d'au moins une caméra vidéo, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer un traitement d'images fixes obtenues par la ou les caméras dans le spectre visible, pour détecter et localiser un éventuel foyer de fumée, la détection d'un tel foyer consistant :
  - à rechercher dans une premier temps dans les images au moins une petite zone de pixels présentant des variations temporelles de niveaux de gris particulièrement de basse fréquence,
  - puis à analyser la ou chaque zone ainsi reconnue par mesure du taux de décorrélation temporelle des pixels appartenant à cette même zone.
2. Procédé de détection selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on sélectionne, pour la recherche de la ou chaque petite zone précitée, des pixels

qui présentent, en ce qui concerne les variations temporelles de leurs niveaux de gris, des fréquences comprises entre 0,3 et 0,1 Hz

3. Procédé de détection selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en qu'il comprend l'opération de recherche, dans les images, d'une petite zone de pixels présentant des variations de niveaux de gris particulièrement chaotiques, par des moyens de mesure d'indice de chaocité spatio-temporelle des différentes zones de pixels dans l'image.
4. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend encore une mesure du bruit spatio-temporel.
5. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il est mis en oeuvre par au moins un dispositif de détection local (2), implanté sur une étendue à surveiller (1) ou à la périphérie de celle-ci, et comprenant au moins une caméra vidéo fixe (4) connectée à une unité de traitement autonome (5) analysant l'image de la caméra (4).
6. Procédé de détection selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'un ou plusieurs dispositifs de détection (2) sont reliés à une unité centrale (10) située à distance, servant de poste de contrôle et de commande, notamment équipée de moyens de visualisation (12,13) pour un opérateur humain.
7. Procédé de détection selon la revendication 6, caractérisé en ce que le poste de contrôle et de commande (10) est prévu pour la visualisation d'une séquence d'images de la partie du paysage située autour d'un foyer détecté, ladite séquence étant visualisée à une cadence fortement accélérée par rapport à sa cadence réelle d'acquisition.

FIG 1

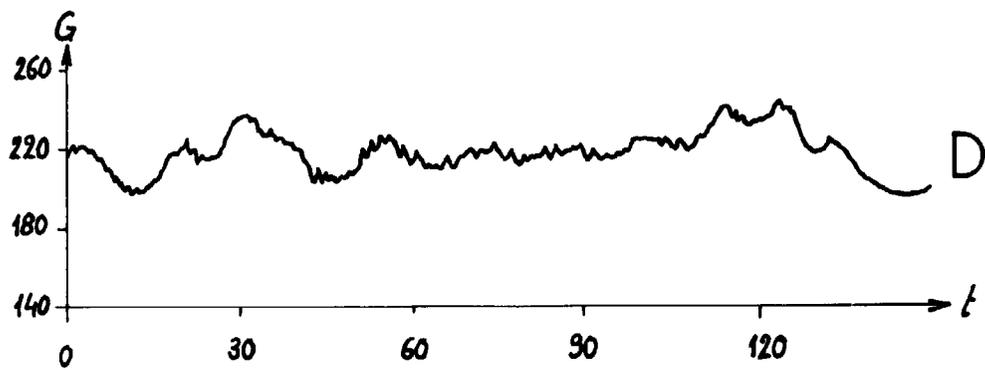
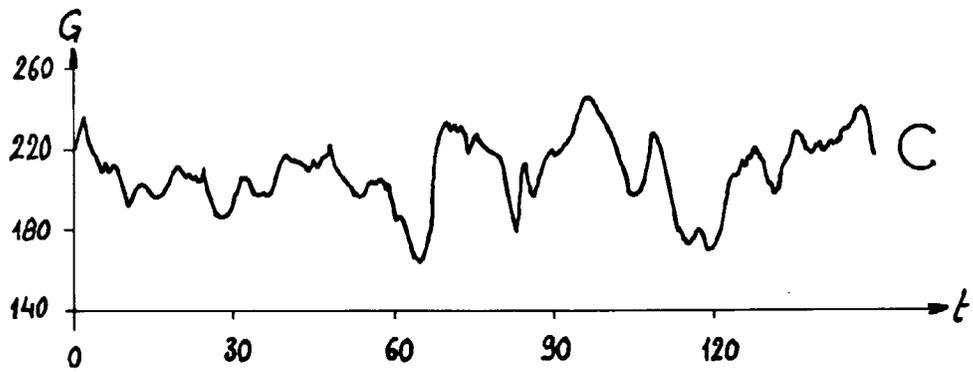
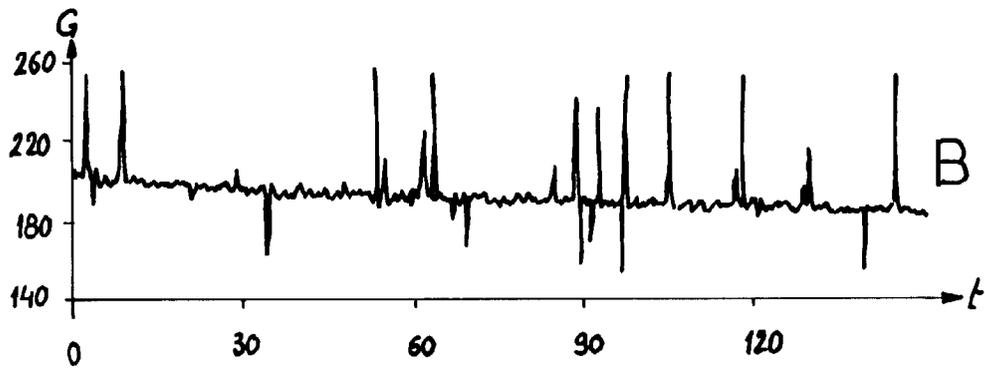
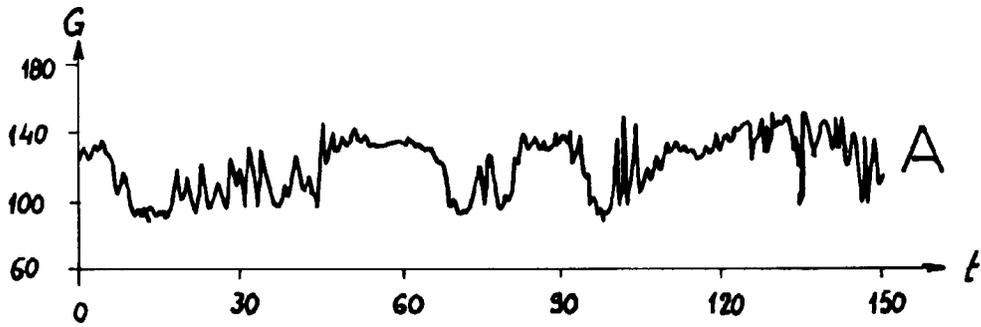


FIG 2

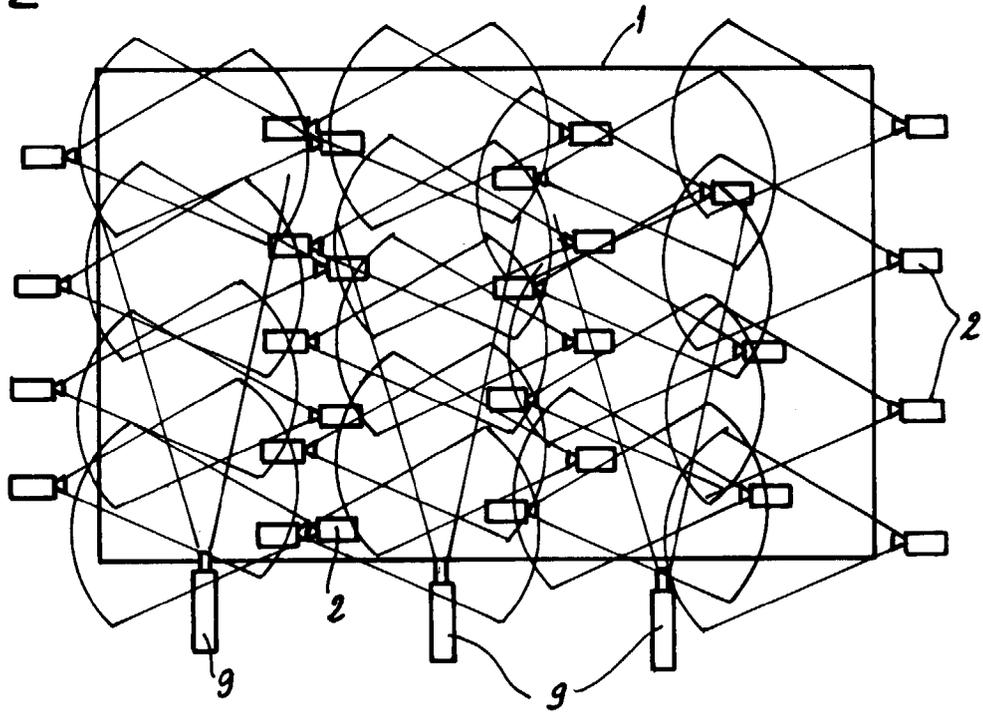
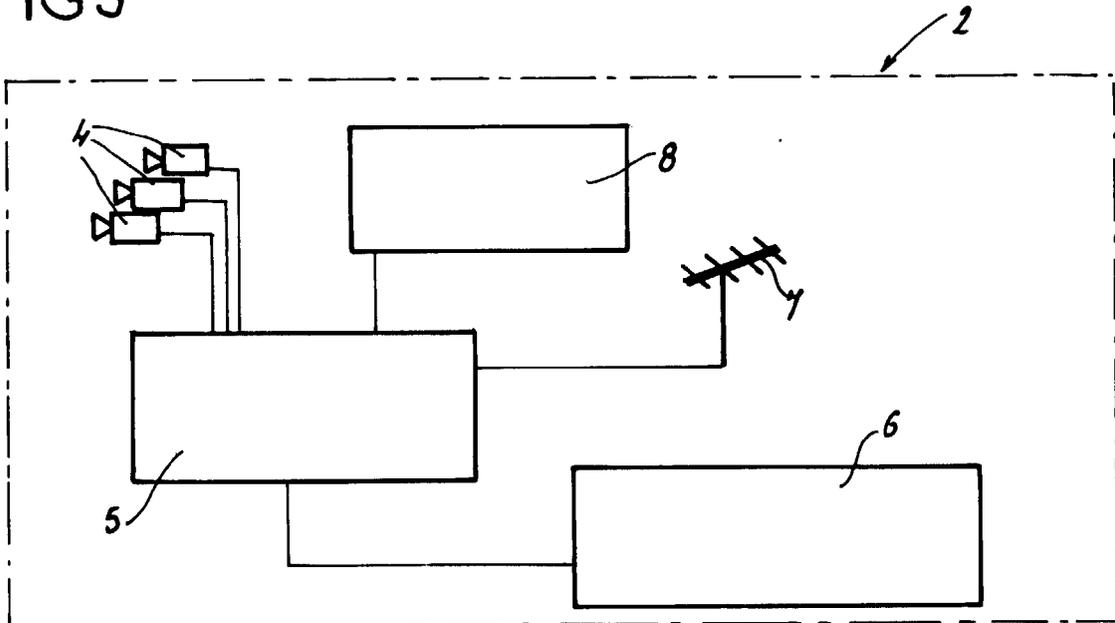


FIG 3



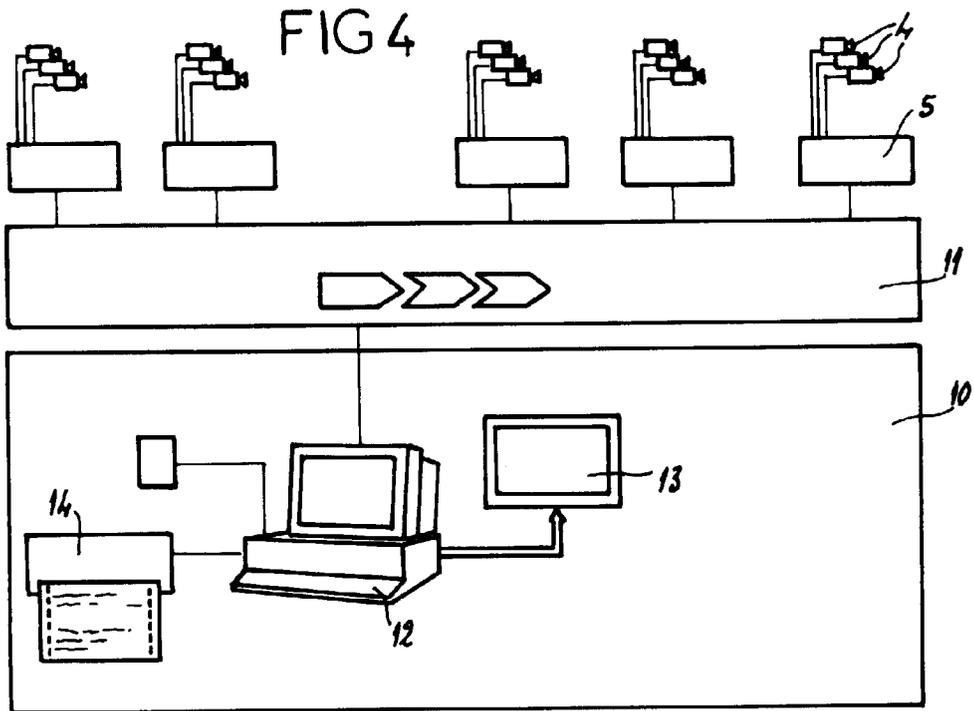


FIG 5

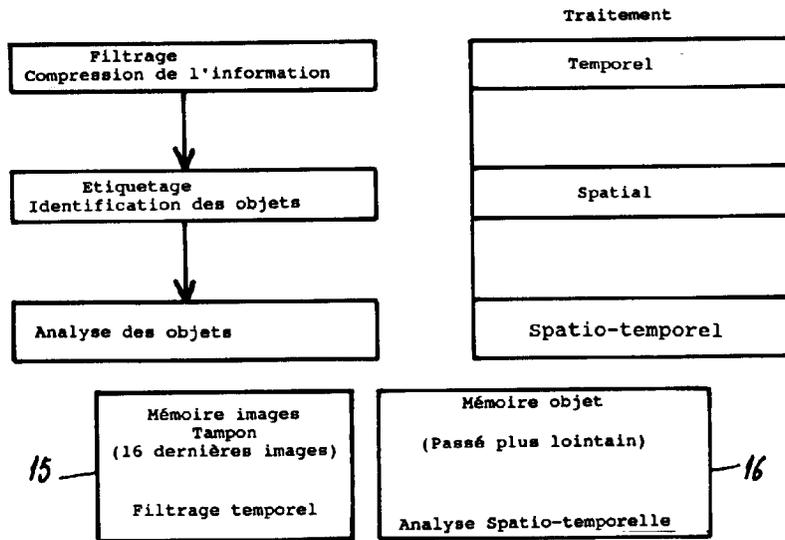
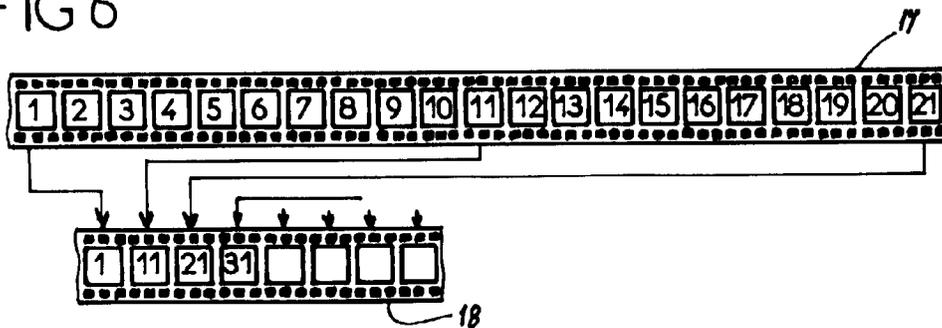


FIG 6





Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 97 42 0115

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A	NODA S ET AL: "FIRE DETECTION IN TUNNELS USING AN IMAGE PROCESSING METHOD" PROCEEDINGS OF THE VEHICLE NAVIGATION AND INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE, YOKOHAMA, AUG. 31 - SEPT. 2, 1994, 31 août 1994, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 57-62, XP000641301 ---	1-4	G08B17/12
A	EP 0 611 242 A (EMPRESA NACIONAL BAZAN DE COSTRUCCIONES NAVALES MILITARES) * le document en entier * -----	5-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			G08B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		23 octobre 1997	Sgura, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03 82 (F04/C02)