



## EXTRACTION AUTOMATIQUE DES CONTOURS DE FOUILLIS RADAR APPLICATION OPERATIONNELLE TEMPS REEL

Bernard MONNIER

THOMSON-CSF, Division Systèmes Défense et Contrôle  
7, rue des Mathurins BP 10  
92223 BAGNEUX

### RESUME

Pour piloter automatiquement et de manière optimale un radar, pour en commander les diverses fonctionnalités, il est indispensable de connaître les zones de fouillis dans l'espace de couverture du senseur (sol, mer, nuages, pluie, Chaff).

Dans le cas d'un radar de veille 3D longue portée de défense aérienne, cet espace couvre plusieurs centaines de km.

Le but de l'application opérationnelle décrite dans cet article est de localiser automatiquement et d'estimer l'évolution en temps réel des fouillis radar présents dans l'espace de couverture du radar.

On peut ainsi exploiter cette information numérique tant au niveau local qu'au niveau d'un centre de gestion multisenseurs déporté (fusion de données multicapteurs).

De plus, ce dispositif comporte un module complémentaire, chargé d'examiner en temps réel les informations d'entrée du dispositif, afin de signaler à l'opérateur une présence de brouilleur passif ainsi qu'une localisation de la menace.

### 1. INTRODUCTION

Un opérateur radar peut à tout moment visualiser la vidéo Log brute au PPI ou sur une visu de type TV, et connaître ainsi les zones de perturbations, mais celle-ci n'est visible que sur le site du radar (*ou sur un site déporté à condition de disposer d'une ligne de transmission haut débit et de techniques coûteuses pour y parvenir*).

D'autre part, la superposition de la vidéo Log brute sur les plots et les pistes, surcharge le dispositif de visualisation, et donc n'est que rarement utilisée par les opérationnels.

La connaissance dans un centre déporté des fouillis d'un radar 2D et à fortiori d'un radar 3D, s'avère évidemment d'une grande utilité au niveau des traitements automatiques de commande radar, d'extraction des cibles, de fusion d'information en provenance de plusieurs capteurs.

La méthode de compression de l'information proposée ici, est basée sur l'extraction de contours de l'image des fouillis permettant ainsi de déporter l'information sur la même ligne de transmission que les plots et les pistes et donc à faible coût.

L'objectif de l'extraction automatique des contours de fouillis est :

- de localiser les fouillis présents dans l'espace de couverture du radar, pour un niveau d'amplitude exprimé en db,
- de les décrire sous forme de contours,
- de définir leur appartenance à l'une des quatre classes de fouillis retenues (*sol, mer, volume, chaff*),
- de transmettre, au moyen d'une liaison série, les informations :
  - \* contour (*sous la forme de points d'approximation*),
  - \* type (*appartenance à une classe*),
  - \* site minimum et site maximum du fouillis vu par le radar.

Le choix des algorithmes de traitement utilisé a souvent été lié à l'implémentation de cette fonction dans un ordinateur en configuration d'application opérationnelle en environnement multi-tâches temps réel.

### ABSTRACT

To command automatically and on optimal manner a radar, in order to program these various functionalities, it is mandatory to know clutter zones in the sensor space coverage (*ground, sea, clouds, rain, Chaff*).

In the case of a 3D long range radar for air defense, this space covers several hundred kilometers.

The purpose of the operational software described in this paper is to automatically localize and estimate the evolution in real time of radar clutter within radar space coverage.

So, this digital information can be use at local level and/or at a remote multisensor management center level (multisensor datafusion).

In addition, this software has a complementary part design to process in real time the input data in order to advise the operator on passive jamming with threat localization.

### 2. PRESENTATION

C'est à partir d'informations du traitement du signal radar, après intégration spatio-temporelle, que l'extraction de contours est effectuée.

Ce dispositif constitue une application opérationnelle temps réel du traitement d'images appliqué aux données d'un radar 3D de Défense Aérienne. En effet, les informations radar délivrées séquentiellement sont mémorisées sur un tour d'antenne et constituent une image azimut/distance.

Une fois cette carte 2D construite (*l'information "site" est conservée par ailleurs*), elle est considérée comme une image, les éléments de cette carte étant assimilés à des pixels, les valeurs d'amplitude à des niveaux de gris, les clutters à des objets.

Des méthodes issues du traitement d'Analyse d'Images sont utilisées :

- pour détecter les objets dans l'image (*opérations morphologiques*)
- pour en extraire les contours.

Une fois les contours créés, il faut vérifier qu'ils sont fermés et éliminer les "petits" contours ainsi que les contours intérieurs. On leur affecte ensuite un numéro permettant de les repérer et de les reconnaître entre 2 traitements successifs (*phase de corrélation*).

Une classification simple des fouillis consiste à les ranger en quatre catégories :

- fouillis de sol,
- fouillis de mer,
- fouillis de volume,
- chaff.

Chaque contour transmis est ainsi identifié comme appartenant à l'une de ces 4 classes.

Les procédés de visualisation pouvant être aussi bien de type télévision que visualisation cavalier, la seule description standard du contour est

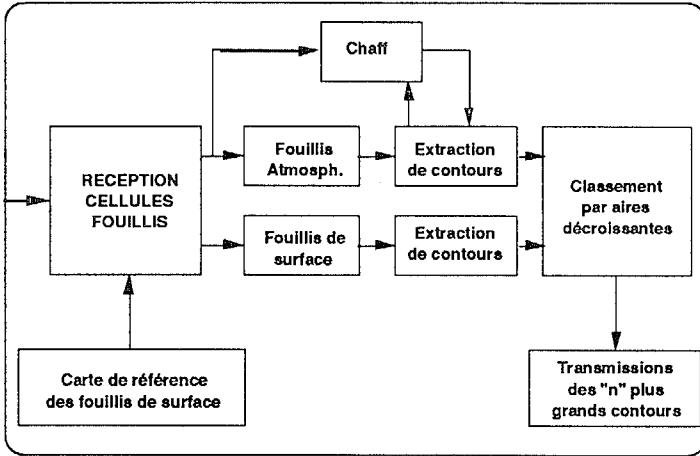


une liste de points caractéristiques, représentant les sommets d'un polygone, obtenus par une méthode d'approximation polygonale.

### 3. TRAITEMENT

#### 3.1. principe

La décomposition des traitements se présente ainsi :



. Schéma de principe de l'extraction automatique des contours de fouillis

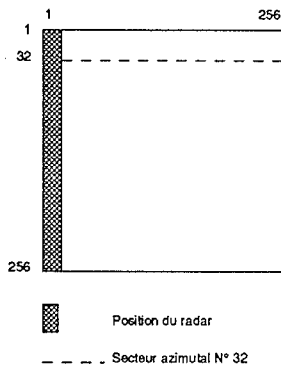
#### 3.2. réception cellules fouillis

On représente les données en coordonnées polaires.

Une matrice 256 x 256 est créée, l'abscisse représente la distance, et l'ordonnée les secteurs azimutaux.

Cette représentation permet un gain de place important, par contre, dans tous les algorithmes utilisés pour traiter cette image, il faudra tenir compte de deux remarques :

- la première et la dernière ligne, correspondant respectivement aux secteurs azimutaux numéros 0 et 255, sont physiquement adjacents.
- toute la première colonne représente en réalité le même point géographique à savoir, la position géographique du radar.



#### 3.3. recherche des objets dans l'image

##### 3.3.1. Objectif

A partir d'une image très bruitée, il faut rechercher des objets n'ayant aucune caractéristique de formes et n'étant invariants ni en rotation, ni en translation.

Ils doivent être bien distincts les uns des autres et avoir une taille minimum pour garantir ensuite des contours sans ambiguïté.

#### 3.3.2. Les traitements d'analyse d'images :

Les opérateurs de traitement d'analyse d'images travaillent itérativement sur une matrice en se basant sur les configurations de voisinage des pixels (cf COS, TOU).

Les opérations testées peuvent être référencées sous plusieurs catégories :

##### - Seuillage :

seuillage par référence à l'histogramme des niveaux de gris

##### - Filtre adaptatif (amélioration d'images) :

\* filtre médian (sur 4 ou 8 voisins) : enlève le bruit isolé.

\* Filtre linéaire :

    filtre passe\_bas : supprime le bruit uniformément réparti, mais adoucit le contraste.

    filtre passe\_haut : accentue le contraste mais n'élimine pas le bruit de fond.

##### - Filtre morphologique :

\* érosion : diminue l'objet et supprime tous les pics

\* dilatation : augmente l'objet et remplit les trous.

\* ouverture : rend les objets plus réguliers en supprimant les pics et les pixels isolés (bruit). C'est une érosion suivie d'une dilatation.

\* fermeture : rend les objets plus réguliers en bouchant les "petits" trous et raffermis certains liens. C'est une dilatation suivie d'une érosion.

\* filtre propre supérieur : allie les possibilités des deux opérations précédentes puisqu'il correspond à une fermeture suivie d'une ouverture et d'une fermeture.

\* filtre propre inférieur : légèrement différent du précédent, c'est une ouverture suivie d'une fermeture et d'une ouverture.

\* chapeau haut de forme : représente la différence entre un objet et son érodé (ou son dilaté) suivie d'un seuillage.

##### \* transformation sur une configuration donnée :

amincissement : amincit l'objet en enlevant les points dont la configuration du voisinage correspond à celle spécifiée

épaississement : de la même manière que précédemment, épaissit l'objet en ajoutant par contre les points.

De manière à appliquer sur le bord de la matrice, les opérateurs des algorithmes définis précédemment, il est nécessaire d'agrandir l'image à traiter afin d'éviter des effets de bord indésirables (cf TOU). En effet, le principe d'une itération est d'effectuer un balayage sur la matrice, par une fenêtre (de taille NxN pixels) en une seule passe, sans traitement particulier pour les pixels du bord. Trois possibilités existent :

a - ne traiter que l'intérieur de l'image en excluant les bords (non envisageable dans notre cas),

b - créer une couronne tout autour de l'image en dupliquant les valeurs du bord (effet Miroir, sans intérêt dans notre cas),

c - mettre dans cette couronne une valeur appropriée suivant l'algorithme ne pénalisant pas le principe du traitement.

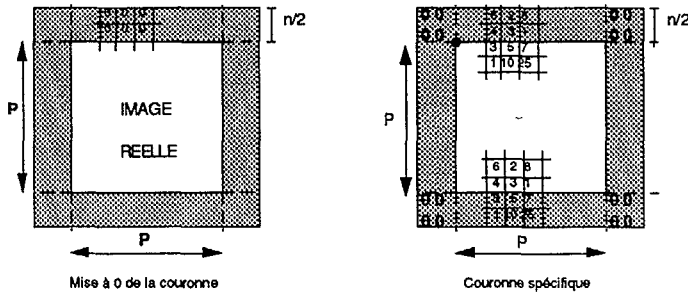
Dans notre cas, une légère variante est apportée à la troisième solution : la bordure supérieure est une recopie des lignes du bas de la matrice (en commençant par la dernière, puis en suivant l'ordre ascendant, c'est à dire en considérant le secteur azimutal numéro 255, puis 254, etc...)

la bordure inférieure est une recopie des lignes du haut de la matrice (en commençant par la première ligne, puis en suivant l'ordre descendant, c'est à dire en considérant le secteur azimutal numéro 0 puis 1,

etc...).

On tient ainsi compte ainsi de leur adjacence.

**Résolution des effets de bord :**



**3.4. Description des contours :**

Pour chaque contour obtenu, le parcours est effectué pour vérifier s'il est bien fermé. Quelques attributs sont calculés tels que sa surface, son périmètre, son rectangle englobant, son centre de gravité. La première mesure permet d'effectuer un classement utilisé par la suite, pour choisir les contours à transmettre sachant que leur nombre est limité. La deuxième est utile pour l'approximation polygonale. Quant aux deux autres, elles sont nécessaires notamment pour la corrélation entre séquence d'images traitées.

L'algorithme développé traite séquentiellement tous les contours. Il faut d'abord prendre un point de départ et le mémoriser. Le contour est alors parcouru suivant le code de FREEMAN 8 directions. Il est déclaré fermé quand le point de départ est retrouvé.

A chaque étape du parcours, sont mis à jour :

- le périmètre,
- les coordonnées Xmin, Xmax, Ymin, Ymax du rectangle englobant (*enveloppe convexe pour le réseau considéré en configuration 4 voisins*),
- les coordonnées du centre de gravité, en tenant compte uniquement des coordonnées cartésiennes des points du contour (*cf TOU*),
- la surface de l'objet est calculée à partir d'une formule se basant sur les valeurs des déplacements en X et en Y lors du passage d'un pixel à son voisin (*cf BAL*).

**3.5. Suppression des petits contours et des contours intérieurs :**

Les objets de très petites tailles, dans une image autre que celle ne contenant que les régions de chaff, sont éliminés car non significatifs à l'échelle des traitements utilisant ce type d'information.

Le filtrage utilisé pour définir les objets dans l'image ne permet pas d'éviter les contours intérieurs. Un algorithme a donc été développé pour les éliminer. Il consiste à vérifier, pour chaque contour, que le point situé à gauche du point origine, n'appartient pas à un objet (*sa valeur doit être à 0 dans l'image binaire contenant les objets*), dans le cas contraire, c'est un contour intérieur qu'il convient d'éliminer de la liste des contours.

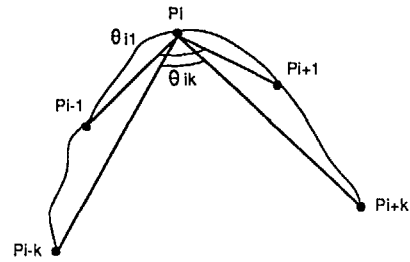
Cet astuce de traitement (*optimisant de façon considérable le temps de traitement*) provient de la manière dont l'image est traitée par l'algorithme chargé de repérer le point initial de chaque contour, à savoir examen de l'image par ligne successive, de la droite vers la gauche.

**3.6. algorithme de recherche des points de forte courbure :**

Tous les points sont traités séquentiellement. Les points retenus sont

ceux dont la valeur de courbure est un maximum local.

ROSENFELD et JONSTON (cf ROS) calculent tous les angles de courbure du point avec ses 'k'-ièmes voisins pour ne retenir que le plus représentatif.



DAVIS (cf DAV) propose une légère variante en rajoutant un critère sur les maxima locaux.

FREEMAN et DAVIS (cf FRE) effectuent une mesure différente dont le résultat indique si le point est un point caractéristique du contour, ou non.

Tous ces algorithmes ont l'avantage de ne traiter qu'une seule fois les points. Mais, pour chacun d'eux, le calcul de la valeur n'est pas rapide.

Notre application possède une contrainte forte, à savoir que le nombre de points par contour doit être maximisé par une valeur fixée.

**Méthode retenue :**

un algorithme tiré de la recherche des points de plus forte courbure a été programmé. Pour chaque point de contour, une seule valeur de la courbure est calculée en prenant le 'k'-ième voisin précédent et le 'k'-ième suivant. Si ce résultat est un maximum local, représentatif d'une zone de longueur 'l' et parmi les valeurs les plus fortes, le point est retenu. Baser le calcul de la courbure sur un seul calcul d'angle rend l'algorithme plus simple et plus rapide même s'il est moins précis. Le choix du paramètre 'k' doit être judicieux pour ne pas passer à côté de certains points d'inflexion. Il dépend aussi de la taille du contour comme indiqué préalablement. Le rôle du paramètre 'l' est de garantir un seul maximum local retenu pour une région. En effet, comme le nombre de points est limité, il vaut mieux éliminer un deuxième maxima local très proche du premier que celui de valeur inférieure situé dans une autre région.

**3.7. classification des fouillis**

Un dispositif de caractérisation des fouillis semi-automatique actuellement (*entièrement automatique en laboratoire*), permet de différencier les fouillis selon quatre classes:

- fouillis de sol,
- fouillis de mer,
- fouillis atmosphérique,
- chaff.

Pour décider de l'appartenance d'un fouillis à la classe "surface", il suffit de vérifier s'il est connu dans la carte de référence.

Le chaff est détecté automatiquement par ses caractéristiques propres.

Un fouillis n'appartenant ni à l'une ni à l'autre des classes précédentes, est automatiquement déclaré fouillis atmosphérique.

**3.8. transmission**

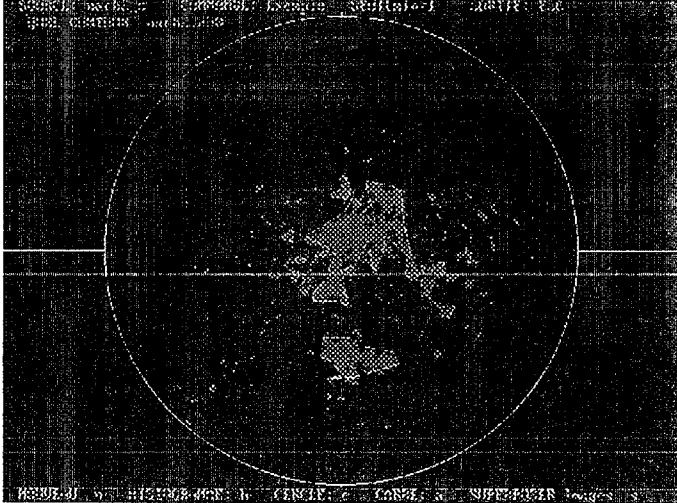
Une classification selon la surface des fouillis est effectuée, et seuls les 'n' plus grands contours sont transmis vers le système de visualisation local ou déporté.



#### 4. RESULTATS OBTENUS

Les algorithmes ont été validés en laboratoire sur des données réelles enregistrées et expérimentés sur différents sites en présence de conditions de fouillis très diverses (*sol, mer, atmosphérique, chaff*).

Actuellement, cette application est intégrée depuis plus d'un an dans les radars 3D de THOMSON CSF SDC.



#### 5. CONCLUSION

Une carte de fouillis est une image très spécifique. Il faut tenir compte de ses particularités à chaque étape du traitement ce qui alourdit les algorithmes.

L'approximation polygonale possède la particularité de s'effectuer selon la contrainte d'un nombre de points maximum, ceci afin de garantir des performances temps réel, compte tenu d'une situation potentiellement estimée comme étant la plus chargée en terme de points par contour.

Tous les traitements sont intégrés dans un calculateur constitué de cellule de traitement temps réel à base de  $\mu$ processeur CISC. L'organisation de ce calculateur, l'interconnexion des cellules le constituant permet de l'assimiler à une architecture de traitement parallèle. L'atelier logiciel associé, propose des outils indispensables à la programmation multi-tâches dans un environnement temps réel (*moniteur, gestion automatique d'interconnexion des cellules de traitement, debug multicellulaires, ...*).

Les algorithmes d'extraction de contours avant approximation polygonale, permettent de restituer quasiment parfaitement les contours réels des zones considérées. En revanche, la contrainte de visualisation sur PPI, dégrade quelque peu la qualité initiale de l'extraction. Une visualisation de type TV permet une visualisation plus précise, sous la forme d'un point de départ, suivi d'une description de type Freeman 4 ou 8 directions et a l'avantage de restituer de façon optimale les zones de fouillis.

Depuis la réalisation effective de cette application, d'importants travaux d'évolution de cette fonctionnalité ont été menés en laboratoire, et produisent des résultats encourageants concernant l'automatisation complète du processus d'identification des fouillis et la précision des informations délivrées.

#### 6. BIBLIOGRAPHIE

TOU: J.J. TOUMAZET, "Traitement de l'image par l'exemple", Sybex, 1990.

GON: R.C. GONZALEZ et P. WINTZ, "Digital Image Processing", Seconde édition, Addison-Wesley, 1987.

COS: M. COSTER et J.L. CHERMANT, "Précis d'analyse d'images", Presses du CNRS, Mars 1989.

BAL: D. H. BALLARD et C. M. BROWN, "Computer vision", Prentice-Hall, Inc., 1982.

RAM: U. RAMER, "An iterative procedure for the polygonal approximation of planar curves", Computer Graphics and Image Processing, vol 1, pp 244-256, 1972.

ROS: A. ROSENFELD et E. JOHNSTON, "Angle detection on digital curves", IEEE Transactions on Computers, pp 875-878, Sept 1973.

DAV: L. S. DAVIS, "Understanding shape: Angles and sides", IEEE Transactions on Computers, pp 236-242, March 1977.

FRE: H. FREEMAN et L. S. DAVIS, "A corner-finding algorithm for chain-coded curves", IEEE Transactions on Computers, pp 297-303, March 1977.

ROB: J. ROBERGE, "A data reduction algorithm for planar curves", Computer vision, Graphics, and Image processing, vol 29, pp 168-195, 1985.

PAV: T. PAVLIDIS, "Algorithms for graphics and image processing", New-York:Computer Science, pp 281-297, 1982.

FRE: H. FREEMAN, "Computer processing of Line-Drawing Images", Computing Surveys, Vol 6, n°1, pp 57-98, March 1974.

#### 7. REMERCIEMENTS

Nous tenons tout particulièrement à remercier le Service Technique des Télécommunications et Equipements aéronautiques de la DGA qui a soutenu techniquement et financièrement l'ensemble des activités liées à ce dispositif et son évolution future.

Nous remercions également le Centre d'Expérimentations Aériennes Militaires (CEAM) de Mont de Marsan pour leur participation active lors de la phase expérimentale du projet.