

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

FILTRAGE COMPLEXE D'IMAGES PAR TRAITEMENT VIDEO-OPTIQUE

J. FLEURET, H. MAITRE

Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications - Dpt ISSV, Laboratoire Image
46, Rue Barrault, PARIS 13^e

RESUME

Nous proposons un système vidéo-optique pour le filtrage complexe d'images. On utilise pour cela 3 canaux de traitement en optique incohérente, suivis d'un matriçage vidéo réalisable au moyen de 3 caméras N/B ou bien par l'utilisation d'une caméra couleurs. Le système proposé permet de filtrer des objets réels (à 3 dimensions) en temps réel.

Les filtrages optiques sont réalisables au moyen d'un filtre classique ou bien par convolution directe à l'aide d'un masque représentant la réponse impulsionnelle du filtre. On peut notamment utiliser l'optique géométrique pour réaliser la projection d'un masque dans un plan défocalisé d'un objectif. Enfin, des opérations supplémentaires sont réalisables par traitement vidéo (seuillage).

Nous présentons plusieurs exemples d'applications : détection de contours d'images N/B, reconnaissance de formes par corrélation, filtrage optimisé pour la lecture automatique.

La méthode est très puissante et s'applique bien à des problèmes d'analyse de scènes industrielles. Toutefois, les caractéristiques dues au traitement analogique des images, et les problèmes techniques rencontrés constituent encore des limitations importantes.

SUMMARY

We propose a video-optical system for image complex filtering. For this purpose, we process three non-coherent channels, by the means of 3 B/W cameras or one colour camera. The system is able to filter real objects (three dimensional) in real time.

Optical filtering can be obtained either by classical filters or by a direct convolution using an impulse response mask. By geometrical optics, a mask can be projected in a plane which is out-of-focus. Finally, additional processing is possible by video means (thresholding).

Examples are shown, concerning several applications : contour detection for B/W images, pattern recognition by correlation, matched filtering for automatic reading.

This very general method is well fitted to industrial Scene-Analysis problems. However, the characteristics due to analogical image processing, and the technical problems encountered constitute still important limitations.



I - INTRODUCTION

Le filtrage d'images par traitement vidéo-optique multivoies est une méthode séduisante. Notre but est d'en examiner les limitations tant théoriques que pratiques afin de commenter son applicabilité.

Il est possible, en optique cohérente, de réaliser, en principe, tout filtrage complexe. Toutefois, deux limitations doivent être considérées. D'une part, la réalisation et l'utilisation pratique des filtres est parfois délicate. D'autre part (et surtout), le bruit inhérent au traitement en cohérent, limite très sérieusement les performances du filtrage. Cela est particulièrement sensible lorsque l'application considérée nécessite une qualité d'image appréciable.

On sait qu'en optique incohérente, la fonction de transfert du filtre est l'autocorrélation de la pupille. Fondamentalement, on ne peut réaliser que des filtres à réponse percussive positive (réf. 1). Par l'utilisation de pupilles holographiques, soit analogiques (réf. 2) soit numériques (réf. 3), il est possible de tourner cette limitation, et de réaliser tout filtrage complexe souhaité. Néanmoins, ces méthodes sont d'une mise en oeuvre délicate et de nombreuses contraintes techniques (rendement, échantillonnage, bruit, etc...) en limitent l'efficacité.

Dans ce contexte, la vidéo présente l'intérêt de traiter des signaux réels (positifs ou négatifs). Elle offre, par conséquent, des possibilités avantageuses de soustraction ou, plus généralement, de matricage. Nous avons proposé récemment une nouvelle méthode de traitement hybride vidéo-optique, élaborée en vue de l'extraction de contours (réf. 4). Elle consiste, dans son principe, à utiliser 3 voies de traitement en optique incohérente, conformément au schéma de la fig. 1.

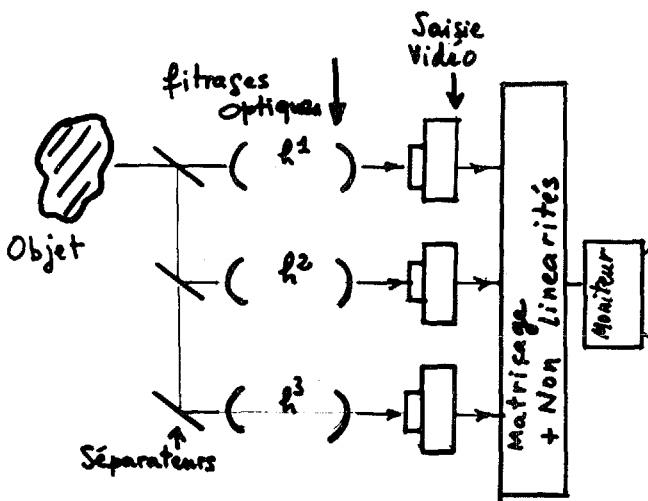


Fig. 1 Schéma de principe d'un système de filtrage complexe par traitement vidéo-optique à 3 voies. On peut utiliser 3 caméras vidéo ; ou bien insérer les filtres optiques dans une caméra couleur, les miroirs dichroïques de la caméra jouant le rôle de séparateurs.

Cette méthode permet de synthétiser tout filtrage à réponse percussive complexe. Nous savons, en effet, qu'il est possible de décomposer un nombre complexe sur une base de 3 vecteurs, de façon que les 3 composantes soient toujours positives (réf. 5). Un exemple d'une telle décomposition est indiqué fig. 2.

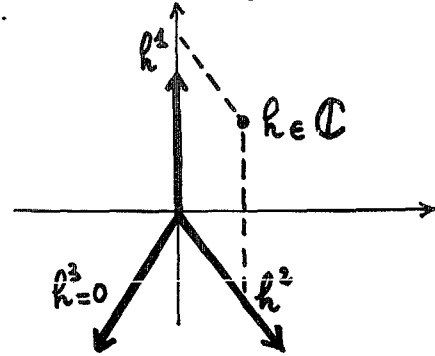


Fig. 2 : Exemple de décomposition d'un nombre complexe en 3 nombres réels ≥ 0 .

On réalise alors sur ce principe la décomposition de la réponse percussive h du filtre, en 3 réponses percussives positives h^1, h^2, h^3 (fig. 1), réalisables en optique incohérente. Pour la séparation en 3 canaux, la méthode la plus simple consiste certainement à employer une caméra couleur, et à réaliser un filtrage par canal. On peut également envisager l'emploi de plusieurs caméras ou encore, d'enregistrements sur magnétoscope.

Les avantages du traitement hybride vidéo-optique proposé semblent très puissants. Le système permet notamment :

- un fonctionnement en temps réel (25 images/sec.) donc sur des objets mobiles.
- la possibilité de travailler directement sur des objets réels (tridimensionnels, éclairés en illumination ordinaire)
- l'introduction aisée de traitements électroniques linéaires (lignes à retard) ou non-linéaires (seuillage, rectification, etc...).

Enfin, les techniques vidéo sont très largement répandues ; elles sont disponibles industriellement et offrent une très grande souplesse d'emploi.

Le traitement hybride vidéo-optique vient de donner lieu à deux publications, correspondant à des travaux simultanés aux nôtres. D. GÖRLITZ et F. LANZL (réf. 6) présentent l'extraction de contours d'un objet binaire au moyen d'un filtre à ouvertures multiplexées. P. WIERSMA (réf. 7) expose le principe d'un système à 3 voies. Nous n'insisterons donc pas sur le formalisme théorique du traitement.

Nous présenterons dans la suite une étude commentée de l'applicabilité expérimentale de la méthode. Après la description de la réalisation des filtres, nous passons en revue les possibilités des traitements à 1, 2 et 3 voies. Nous présenterons des tests d'applications diverses, mis en oeuvre expérimentalement sur 1 ou 2 voies.



II - REALISATION DES FILTRES

Pour la réalisation des filtres, on peut songer à utiliser les techniques d'holographie, déjà mentionnées plus haut (réf. 2 et 3). Ces techniques, basées sur la théorie de la diffraction, permettent, on le sait, de synthétiser la phase.

Toutefois, dans le cadre d'une utilisation vidéo-optique, nous pensons que l'intérêt de ces techniques semble assez limité. En effet, les filtres holographiques nécessitent une lumière quasi-monochromatique. Cela implique deux limitations. La première porte sur la résolution de l'image traitée. On peut, effectivement, se contenter d'une résolution réduite, lors d'un traitement vidéo. La seconde limitation semble plus importante. En effet, l'expérience montre que les problèmes de bruit, tant redoutés, auront une fâcheuse tendance à réapparaître si l'on utilise des niveaux lumineux faibles et quasi-monochromatiques (diffraction). Cela va, évidemment, à l'encontre du but recherché... Enfin, la difficulté de mise en oeuvre de ces techniques a déjà été évoquée.

Nous avons voulu utiliser un filtrage beaucoup plus simple, et, semble-t-il, mieux adapté au traitement vidéo-optique. Il s'agit d'un filtre approché, basé sur l'optique géométrique. Le principe en est très simple (fig. 3). On utilise une source quasi-ponctuelle, de lumière non nécessairement monochromatique. Un masque de transmittance en intensité $h(x,y)$ est placé dans le plan pupillaire de la lentille L (de focale f).

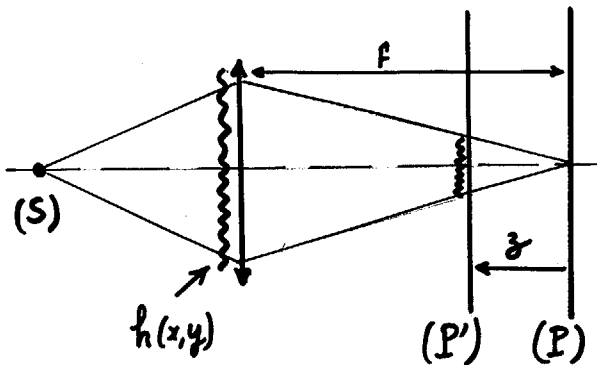


Fig. 3 : Filtrage par masque de réponse percussive, en optique géométrique.

On utilise l'intensité obtenue dans un plan (P'), défocalisé de z par rapport au plan (P) de mise au point. D'après l'optique géométrique, on retrouve, dans le plan (P') la fonction h , à un facteur d'échelle près :

$$h(\epsilon x, \epsilon y) \quad \left(\epsilon = \frac{f}{z} \right)$$

Remplaçons maintenant le point source par l'objet $o(x,y)$. L'image observée est :

$$i(x,y) = o(x,y) * h(\epsilon x, \epsilon y)$$

On voit qu'il est possible d'effectuer ainsi des convolutions en intensité. Le filtre est réalisé par synthèse de sa réponse percussive (réf. 8) contrairement aux méthodes classiques holographiques,

qui implémentent la fonction de transfert.

Ce procédé n'est théoriquement valable que si l'on choisit z suffisamment grand, pour que l'on soit dans la zone lointaine de diffraction des plus petits détails δ du masque :

$$z \gg \frac{\lambda f^2}{\delta^2}$$

En plus de cette condition théorique, des contraintes pratiques interviennent (vignettage, aberrations). L'emploi des filtres en optique géométrique est donc limité à des objets de faible résolution.

Tous les résultats présentés plus bas utilisent ce type de filtrage. Nous avons employé pour lentille L l'objectif des caméras vidéo. Le masque est placé contre l'objectif et, par simple déplacement de la mise au point, on peut contrôler sur un moniteur, la valeur de la défocalisation z .

III - TRAITEMENT A 1 VOIE

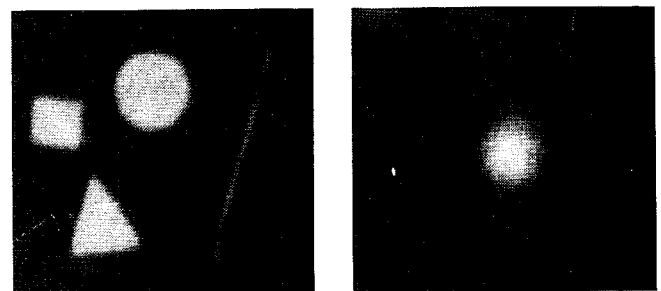
Nous avons ainsi réalisé des expériences de reconnaissance des formes par corrélation. Soit s le signal à reconnaître dans l'ensemble f . On veut réaliser :

$$g(x,y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} f(x',y') s^*(x'-x, y'-y) dx' dy'$$

Comme s est par nature une grandeur réelle positive, il nous suffit de choisir un masque h égal à l'image retournée et homothétique de s :

$$h(x,y) = s(-\epsilon x, -\epsilon y)$$

La détection et le seuillage du pic de corrélation sont obtenus directement sur le signal vidéo, à l'aide des contrôles de gain et de contraste du moniteur. On réalise ainsi une corrélation à l'aide d'une seule voie de traitement. La fig. 4 montre le résultat de la détection d'un triangle parmi plusieurs figures géométriques, par cette méthode.



Objet Pic de corrélation (agrandi)

Fig. 4 : Détection d'un triangle parmi plusieurs figures géométriques, par corrélation.

Quels sont les avantages de ce montage par rapport à une expérience totalement optique ? Ils sont peu nombreux, puisque toutes les fonctions ci-dessus peuvent être obtenues optiquement. Néanmoins, l'expérimentateur saura trouver quelque commodité à disposer de réglages préexistants (zoom, mise au point, gain, contraste), qui lui permettent une action très rapide



sur les paramètres de l'expérience. D'autre part, la liaison vidéo permet de séparer spatialement le lieu de l'expérience de celui de son observation et de son contrôle. Dans des conditions d'accès difficile, cet avantage peut-être d'un grand prix.

IV - TRAITEMENT A 2 VOIES

Lorsque l'on veut synthétiser une réponse percutielle bipolaire, le traitement à 1 voie n'est plus suffisant.

On se heurte, avec 2 voies, à la difficulté de trouver deux caméras identiques (identité des linéarités, des gains, ainsi que des géométries de balayage). Dans la mesure où une telle éventualité est possible celà entraînerait une répercussion notable sur le coût du système... En ce qui nous concerne, nous avons effectué le filtrage en deux étapes grâce à un magnéto-scope. La première composante du filtre (h^+) est tout d'abord enregistrée ; ensuite, en repassant la séquence, on lui soustrait la composante (h^-) provenant directement de la caméra. Cette solution interdit, malheureusement, un filtrage sur des objets mobiles. Nous l'avons toutefois adoptée, car elle résout assez bien le problème difficile des distorsions au détriment d'un temps de traitement, somme toute, assez réduite.

Le traitement à 2 voies est envisageable pour les trois applications suivantes.

IV.1 - RESTAURATION D'IMAGES TOMOGRAPHIQUES

On sait que les images de tomographie axiale transverse reconstituées par back-projection sont convoluées par un opérateur en $\frac{1}{r}$. Une méthode classique de restauration, utilisant $|r|$ un filtrage de WIENER, conduit à un filtre de fonction de transfert réelle paire, correspondant à une réponse percutielle bipolaire. (cf. réf. 9 et 10).

On est donc tout à fait dans le cadre du traitement à 2 voies.

Toutefois, plusieurs arguments défavorables doivent être mentionnés. Tout d'abord, on doit obtenir une bonne suppression de la fréquence 0. Or, la dynamique du signal vidéo est très limitée ; et les expériences de simulation montrent que la dynamique disponible est tout juste suffisante. Un autre phénomène, lié lui aussi à l'existence d'une soustraction, est le suivant. Le filtre correcteur se présente comme un filtre d'augmentation de contraste. On sait qu'un tel filtre accentue l'influence du bruit. G. HAUSLER (réf. 11) présente, à ce sujet, des résultats significatifs, montrant que le bruit a une structure, semble-t-il, assez proche d'un bruit "cohérent" de granularité, causé probablement par les petites inhomogénéités de la cible vidéo.

Puisqu'il s'agit de restaurer une image, c'est à dire, d'améliorer sa qualité, nous restons un peu indécis quant à l'applicabilité réelle de notre méthode à ce problème particulier.

IV.2 - RECONNAISSANCE DES FORMES ET LECTURE AUTOMATIQUE

Nous allons illustrer sur deux exemples, l'application à ce domaine, du traitement à 2 voies.

- dans le cas de la détection d'un anneau parmi des formes multiples, nous avons réalisé sur la voie positive une défocalisation donnant une tache égale au grand cercle de l'anneau ; sur la voie négative, une défocalisation plus faible, égale au petit cercle. La différence des deux est bien la forme recherchée (résultat fig. 5).

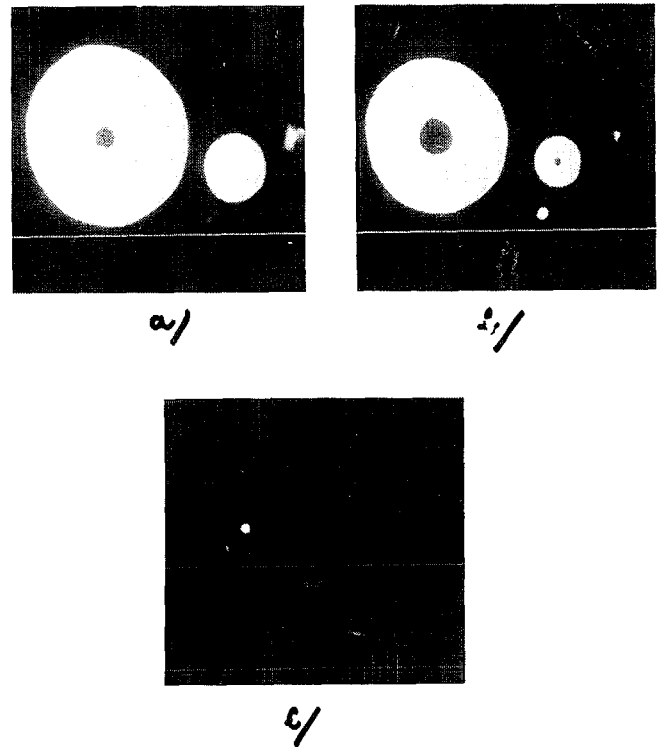


Fig. 5 : Détection d'un anneau par corrélation

- a) image corrélée par le grand cercle
- b) image corrélée par le petit cercle
- c) différence

- pour la reconnaissance de caractères, lorsque les caractères sont contenus l'un dans l'autre (cf fig. 6), la détection est notablement améliorée si l'on réalise un filtre détectant la différence des caractères. Ainsi, pour détecter le "R", la voie positive porte le masque du "R", la voie négative celle du "P", et la soustraction des deux images permet ainsi la détection sélective du "R", avec un accroissement notable du taux de reconnaissance.

Nous avons proposé par ailleurs la réalisation d'une lecture automatique optimisée au moyen d'un filtre à réponse percutielle bipolaire (filtre F.O.U.T. réf. 12). L'expérience présentée ici constitue une première approche de ce type de filtrage.

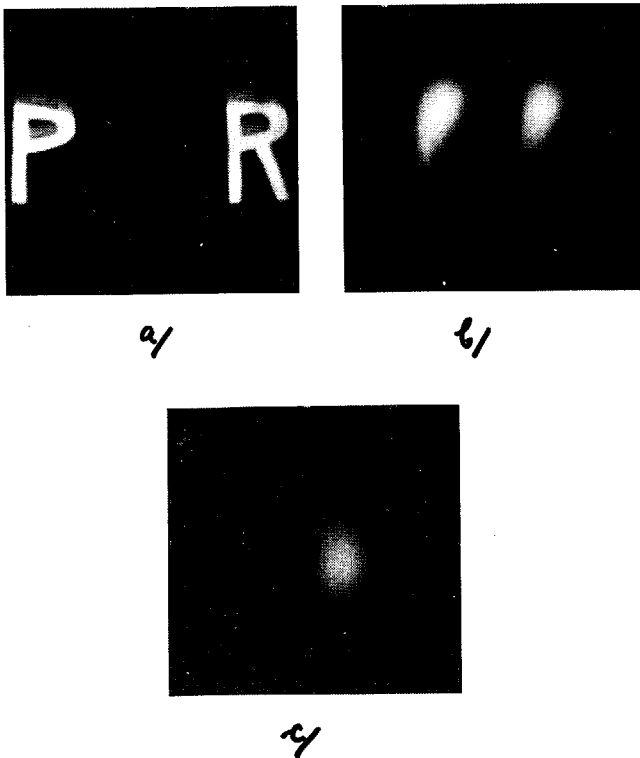


Fig. 6 Reconnaissance de caractères par traitement à 2 voies

- a) objet
- b) corrélation par le masque du "P"
- c) détection du R par différence entre les corrélation de l'objet avec le "R", puis avec le "P".

On voit sur ces deux expériences, que le critère de validité d'un système de reconnaissance des formes n'est pas le même qu'en restauration d'images. La mesure se fait en terme de taux de détection plutôt qu'en terme de qualité d'images. Par conséquent, il est probable que notre traitement est mieux adapté à ce type d'application. Mais nous n'avons pas encore suffisamment d'éléments pour conclure.

IV.3 - DETECTION DES CONTOURS D'UNE IMAGE OU D'UN OBJET

La détection de contours d'images ou d'objet est une étape très importante en reconnaissance des formes ou en analyse de scènes.

L'opérateur linéaire utilisé généralement est un laplacien. On en réalise facilement une bonne approximation avec 2 voies, la voie positive donnant une image défocalisée. Les gains sont adaptés pour assurer l'extinction de la fréquence nulle. Le seuillage nécessaire est obtenu très facilement en jouant sur le contraste du moniteur.

La fig. 6 montre le résultat de deux expériences de détection de contours, par filtrage en optique cohé-

rente, et par traitement vidéo-optique.



Fig. 7 : Détection de contours d'image.

à gauche : par filtrage en optique cohérente
à droite : par traitement vidéo-optique à 2 voies.

On constate qu'en vidéo, les contours obtenus sont larges, et non uniformes. D'autre part, la nature du filtre a tendance à renforcer le bruit. Toutefois, l'image obtenue en traitement vidéo-optique est nettement moins bruitée.

Il semble que cette application soit concevable, pour des problèmes industriels d'analyse de scènes, pour lesquels les objets à analyser sont simples (binaires, à faible résolution) et surtout, pour lesquels le critère de qualité de l'image n'est pas primordial. Nous présentons à titre d'illustration (fig. 8) l'exemple d'une telle opération appliquée à un objet tridimensionnel.

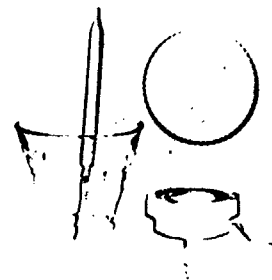


Fig. 8 : Détection de contours d'un objet tridimensionnel par traitement vidéo-optique à 2 voies.

V - TRAITEMENT A 3 VOIES

Quant au traitement à 3 voies, il permet, nous l'avons vu, la synthèse de toute réponse percussive complexe. Un exemple est celui d'un filtre bipolaire utilisant la diffraction. Un autre exemple, plus général, est celui des filtres adaptés.

Toutefois, malgré la grande potentialité des traitements réalisables, force est de constater que, jusqu'à



FILTRAGE COMPLEXE D'IMAGES PAR TRAITEMENT VIDEO-OPTIQUE

présent, l'utilisation de 2 voies permet déjà un bon nombre de traitements, et soulève, on l'a vu, un certain nombre de problèmes pratiques. Pour les traitements à 3 voies, ces problèmes seront d'autant moins simples. Si le système permet, de par sa nature, un multiplexage optique des filtres (réf. 7), il ne résoud pas les difficultés de séparations géométrique des 3 voies. Enfin, le filtrage chromatique présuppose des composantes de couleur équilibrées, ce qui n'est pas toujours vrai pour des objets réels. (Notons toutefois qu'un traitement chromatique pourrait être éventuellement utilisé de façon avantageuse pour le traitement d'objets colorés).

VI - CONCLUSION

Nous avons présenté l'étude de quelques applications d'une nouvelle méthode de traitement hybride vidéo-optique d'images. Malgré des avantages parfois très appréciables, plusieurs inconvénients pratiques sont apparus :

- la qualité des images est souvent limitée, à cause de problèmes de bruit, de dynamique ou de résolution. De toute façon, les meilleures performances seront limitées aux standards T.V.

- l'appairage des équipements vidéo constitue une limitation sérieuse.

Nous pensons que la méthode proposée ici semble adaptée à des problèmes bien particuliers, où la qualité de l'image traitée n'est pas un critère décisif, mais où importent bien plus la disponibilité en temps réel, la commodité de la mise en oeuvre et des réglages. C'est donc une méthode qui semble convenir aux contextes industriels de contrôle et de positionnement, ainsi qu'aux applications sur le terrain.

Nous remercions le Dr. HAUSLER (Université d'Erlangen) pour les intéressantes discussions.

Nous remercions également Mlles F. TOUCHARD, B. FRIEDEL et Mrs C. GAUTELLIER, G. CAMPARO, M. REMADNA pour leur contribution expérimentale.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - A. COZANNET, J. FLEURET, H. MAITRE, M. ROUSSEAU
Optique et Telecommunications - Ch. 7
Collection Scientifique et Technique du CNET
(en cours de publication)
- 2 - S. LOWENTHAL, A. WERTS
C.R. Académie des Sciences de Paris - T. 266-8
(1968), 544
- 3 - A.W. LOHMANN
Appl. Opt. V.7, 3 (1978), 561
- 4 - H. MAITRE, J. FLEURET
Contour détection : numerical, optical and hybrid
methods I.C.O. 11, Conference, Madrid, 1978
- 5 - D.C. CHU, J.R. FIENUP, J.W. GOODMAN
Appl. Opt. V. 12, (1973), 1386
- 6 - D. GORLITZ, F. LANZL
Opt. Comm. V. 28, 3 (1979), 283
- 7 - P. WIERSMA
Opt. Com. V. 28, 3 (1979), 280
- 8 - J. FLEURET, H. MAITRE, E. CHEVAL
Opt. Com. V. 21,3 (1977), 361
- 9 - G. MEDIONI, P. MORIAMEZ
Tomographie. Reconstitution d'images par déconvolution numérique et optique dans le plan de Fourier
rapport ENST - H - 77 002
- 10 - J.P. AGUTTES
Tomographie. Reconstruction d'images tomographiques par filtrage dans le plan de Fourier. Etude du traitement optique et numérique.
rapport ENST - H - 78 008
- 11 - G. HAUSLER
Tagung der Fernseh-und Kinotechnischen Gesellschaft, Trier 1978
- 12 - J. FLEURET, H. MAITRE
Opt. Com. V. 17, 1 (1976), 64