

AD-A099 443

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT OTTAWA (ONTARIO)
SYSTEME OPTIQUE DE TRANSFORMEE DE MELLIN BIDIMENSIONNELLE (AN 0--ETC(U))

F/G 20/6

FEB 80 N BROUSSEAU

UNCLASSIFIED

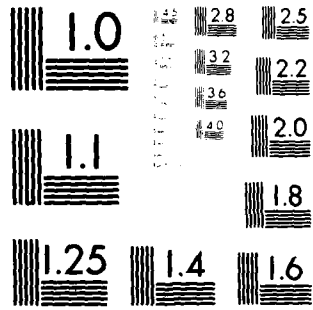
CRDO-NT-80-12

NL

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

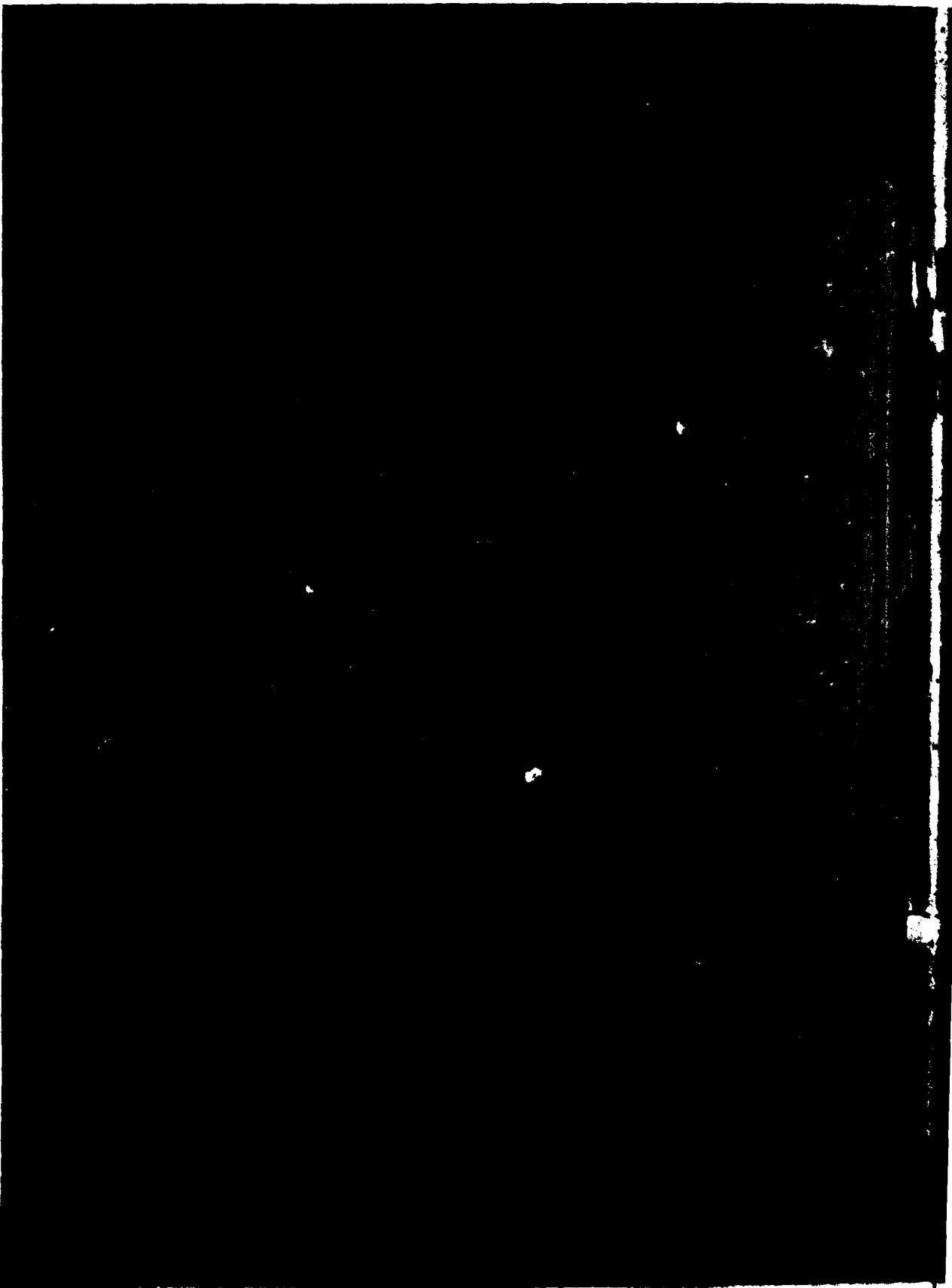


END
DATE
FILMED
6-81
DTIC



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

AD AUG 99 443



BUREAU - RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE NATIONALE
CANADA

9111-1-1111

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE, OTTAWA

NOTE TECHNIQUE: N° 80-12

14 000-111-1111

6
SYSTÈME OPTIQUE DE TRANSFORMÉE DE MELLIN BIDIMENSIONNELLE
(An Optical System for 2D Mellin Transform)
per es Brousseau

A
Brousseau
Section de télédétection
Division de l'électronique pour la Défense

10
Nicole

4111
10111

DTIC
ELECTE
MAY 28 1981
S D
B

PROJET N°.
38-80-07

FÉVRIER, 1980
OTTAWA

40111

NON-CLASSIFIE

RÉSUMÉ

On a mis au point un système analogue (optique) permettant d'effectuer une transformée de Mellin bidimensionnelle au moyen d'un filtre optique.

ABSTRACT

→ An optical, analog, system has been developed which permits bidimensional Mellin transforms to be produced using an optical filter. →

111

NON-CLASSIFIE

Accession For	
NTIS GRA&I	<input checked="" type="checkbox"/>
DTIC TAB	<input type="checkbox"/>
Unannounced	<input type="checkbox"/>
Justification	
By _____	
Distribution/	
Availability Codes	
Dist	Avail and/or Special
A	

TABLE DES MATIERES

	<u>page</u>
RÉSUMÉ.....	111
TABLE DES MATIERES.....	v
INTRODUCTION.....	1
THEORIE DES TRANSFORMATIONS DE COORDONNEES NON-LINEAIRES.....	1
TRANSFORMÉE DE MELLIN.....	3
RESULTATS EXPERIMENTAUX.....	5
CONCLUSION.....	10
REFERENCES.....	11
FIGURE 1: MONTAGE OPTIQUE POUR EFFECTUER UNE TRANSFORMATION DE COORDONNÉES.....	6
FIGURE 2: TRANSFORMÉE DE MELLIN D'UN RECTANGLE.....	7
FIGURE 3: TRANSFORMÉE DE MELLIN D'UN RECTANGLE INCLINE.....	8
FIGURE 4: TRANSFORMÉE DE MELLIN D'UN DISQUE.....	8
FIGURE 5: TRANSFORMÉE DE MELLIN D'UN ANNEAU.....	9
FIGURE 6: TRANSFORMÉE DE MELLIN D'UNE MIRE DE FOUCAULT DE 1 LIGNE/MM.....	9

INTRODUCTION

L'invention, dans les années 1960, du laser a muni la recherche scientifique de sources lumineuses cohérentes intenses. L'holographie connut, par la suite, un développement spectaculaire. Le traitement optique de l'information reçut, lui aussi une impulsion vigoureuse. Des techniques optiques de reconnaissance de formes (1,2), de filtrage de fréquences spatiales (3,4) et de codage de l'information (5), pour n'en citer que quelques-unes, apparurent bientôt.

Toutes ces techniques ont cependant la caractéristique d'être linéaire, c'est-à-dire que la transformation opérée est la même pour tous les points du champ objet. Ce n'est que récemment que Bryndahl (6,7) publia une méthode permettant d'effectuer des transformations de coordonnées non-linéaires.

L'avènement de cette technique constitue une étape importante dans le développement du traitement optique de l'information. Elle permet, l'utilisation de la rapidité et du grand produit espace-bande des systèmes optiques à une foule de nouveaux problèmes qu'il était impossible de traiter optiquement auparavant.

Nous présentons ici les premiers résultats de travaux appliquant ces techniques à la solution de problèmes intéressant la section de télédétection.

THEORIE DES TRANSFORMATIONS DE COORDONNEES NON-LINEAIRES

Une transformation conforme peut être définie comme une transformation

$$\begin{aligned}u &= u(x,y) \\v &= v(x,y)\end{aligned}\tag{1}$$

agissant sur les coordonnées (x,y) d'un espace de départ de façon à le transformer, selon une loi bien définie, en un nouvel espace de coordonnées (u,v) .

Essayons d'établir la transformation de coordonnées produite par la multiplication d'un champ objet par un facteur de phase $e^{i\rho(x,y)}$ suivie d'une transformée de Fourier. Soit $a(x,y)$ l'objet initial et $a'(u,v)$ le contenu du plan de Fourier. $a(x,y)$ et $a'(u,v)$ sont liés par la relation suivante:

$$a'(u,v) = \iint_{-\infty}^{\infty} a(x,y) e^{i\rho(x,y)} e^{-\frac{ik}{f}(xu + yv)} dx dy \quad (2)$$

où f est la longueur focale de la lentille effectuant la transformée de Fourier. Il est possible de prouver, en utilisant la méthode de la phase stationnaire, que la transformation de coordonnées produite par l'introduction d'un facteur de phase est donnée par la relation suivante (voir réf. 7 et 8 pour plus de détails sur la dérivation mathématique du résultat):

$$u = \frac{f}{k} \frac{\partial \rho(x,y)}{\partial x} \quad (3)$$

$$v = \frac{f}{k} \frac{\partial \rho(x,y)}{\partial y} \quad (4)$$

Il suffit donc, en théorie tout au moins, de multiplier un champ objet par le facteur de phase approprié afin de produire la transformation de coordonnées désirée. Reste maintenant à produire ce facteur de phase.

L'idéal serait de disposer d'un valve à lumière cohérente utilisant un thermoplastique telle que décrite dans (9). Cet appareil permet, en effet, d'écrire directement une phase sur une feuille de plastique qui peut, ensuite, être utilisée comme filtre dans un système de traitement optique cohérent. Ce type d'appareil possède un produit espace-bande (10) fort intéressant (2.5×10^6) et est susceptible d'amélioration pouvant porter son produit espace-bande à 10^8 . Malheureusement, ne possédant pas un tel appareil, nous devons recourir à d'autres moyens.

Il est bien connu qu'un facteur de phase

$$e^{i\rho(x,y)} \quad (5)$$

possède des équiphasés définies par l'équation:

$$\rho(x,y) = 2n\pi \quad (6)$$

Ce qui signifie que la distribution de phase $e^{i\rho(x,y)}$ se manifeste par des franges qui sont solutions de l'équation (6). Si on arrive à recréer ce réseau de franges, on aura recréé le facteur de phase correspondant. C'est la technique qu'ont utilisée Bryngdahl (6,7), Lee (11) et Casasent (12). Il faut cependant que la structure du filtre soit beaucoup plus fine que la structure de l'objet (7,11). Cette relation n'est, malheureusement, que

qualitative et jusqu'à maintenant, aucun énoncé plus précis n'a été formulé.

La fabrication du masque reproduisant les franges de la distribution de phase implique d'abord le calcul par ordinateur de la position de ces franges. On doit ensuite trouver un appareil capable de les tracer, le plus fidèlement possible, à un facteur d'échelle approprié et d'effectuer une photoréduction du masque ainsi obtenu. Comme on peut s'en douter, la fabrication de tels masques est parsemée de problèmes techniques parfois fort difficiles à résoudre.

TRANSFORMÉE DE MELLIN

La transformée de Mellin est définie par l'équation

$$M(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) x^{-iu-1} y^{-iv-1} dx dy \quad (7)$$

qui devient

$$M(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\exp(x'), \exp(y')) e^{-i(ux' + vy')} dx, dy, \quad (8)$$

lorsqu'on effectue le changement de variable

$$\begin{aligned} x &= \exp x' \\ y &= \exp y' \end{aligned} \quad (9)$$

On note immédiatement que l'équation est la transformée de Fourier d'un objet ayant subi une transformation logarithmique de coordonnées définie par

$$\begin{aligned} x' &= \ln x \\ y' &= \ln y \end{aligned} \quad (10)$$

Une transformée de Mellin, peut donc être obtenue en opérant d'abord une transformation logarithmique de coordonnées sur l'objet suivie d'une transformée de Fourier.

Les techniques de production optique de transformée de Fourier sont bien connues (13) et n'impliquent aucune difficulté lorsque de l'équipement de bonne qualité est disponible. La production du filtre devant effectuer la transformation logarithmique s'écarte cependant beaucoup plus des sentiers battus.

L'intérêt d'un tel exercice réside d'abord dans une familiarisation avec la mise au point d'un système capable de produire des transformations de coordonnées. Si on arrive à maîtriser suffisamment bien ces techniques pour obtenir des résultats intéressants dans un cas particulier, les travaux de Bryngdahl (6,7) ouvriront la voie à tout un éventail d'applications extrêmement intéressantes dont la correction de distorsions géométriques d'images ou la correction des aberrations présentes dans les interférogrammes de radars à antenne synthétique montés sur satellite ne sont que les cas particuliers qui nous sont d'abord venus à l'esprit.

La transformée de Mellin constitue une application particulièrement intéressante des travaux de Bryndahl. En effet, cette transformée possède la propriété de corrélérer deux objets ne différant que par un facteur d'échelle sans perte de rapport signal sur bruit (12). Il est donc possible, avec une transformée de Mellin, de faire de la reconnaissance de formes indépendamment de la grandeur de l'objet.

La première étape dans la réalisation d'un filtre à transformée de Mellin consiste à calculer, à partir des équations 3 et 4, la fonction $f(x,y)$ associée à la transformation de coordonnées logarithmique désirée. La substitution des équations 10 dans les équations 3 et 4 nous laisse les équations suivantes à résoudre:

$$\frac{\partial \rho(x,y)}{\partial x} = \frac{k \ln x}{f} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \rho(x,y)}{\partial y} = \frac{k \ln x}{f}$$

Il est facile de prouver que

$$\rho(x,y) = \frac{k}{f} (x \ln x - x + y \ln y - y) \quad (12)$$

constitue une solution de l'équation 11. Il est, de plus, pratique d'ajouter à $f(x,y)$ une porteuse de façon à pouvoir séparer spatialement les résultats. L'angle de cette porteuse doit être le minimum compatible avec l'étendue et le contenu de fréquences de l'objet (voir réf. 11). En effet, le nombre de lignes à tracer pour générer le masque augmente avec l'angle de la porteuse et il devient rapidement très difficile de générer des masques si les lignes sont trop nombreuses. Nous avons choisi d'utiliser.

$$\rho(x,y) = k (x \ln x - 4x + y \ln y - y) = 2\pi r$$

avec

$$\begin{aligned} -636 &\leq n \leq -186 \\ .1\text{mm} &\leq x \leq 10\text{mm} \\ .1\text{mm} &\leq y \leq 10\text{mm} \end{aligned} \quad (13)$$

Le masque final, avec toutes ses franges, fut réalisé par la traceuse Houston Instruments DP-7 du Centre de Recherches sur les Communications. Cette traceuse est loin d'être l'outil idéal pour réaliser ce type de travail. La densité du trait varie beaucoup trop (jusqu'à disparaître quelquefois) et on peut observer un tremblement de la plume lorsqu'elle trace une ligne. Des difficultés supplémentaires surgissent lors de la photoréduction car le dessin est effectué sur papier et on utilise un éclairage par transparence pour photoréduire. On ne peut donc espérer qu'un masque réalisé de cette façon soit de très bonne qualité. Nous avons néanmoins choisi cette façon de procéder pour les premiers essais à cause que c'est la méthode la plus rapide d'effectuer une expérience de principe.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats expérimentaux suivants ont été obtenus à l'aide du montage illustré à la Fig. 1. Le faisceau lumineux provenant du laser L est agrandi par le collimateur C. Le masque M limite l'étendue de l'illumination de l'objet O qui est imagé par deux lentilles L_1 et L_2 sur le filtre F. Les lentilles sont disposées de façon à produire un grandissement unitaire et une onde plane telle que le filtre décrit par l'équation 10 l'exige. Cette façon de procéder élimine la nécessité d'introduire un facteur de phase quadratique supplémentaire dans le filtre, et, par conséquent, facilite la réalisation du filtre. Une lentille disposée à une longueur focale du plan contenant le produit du filtre par l'image de l'objet à transformer effectue une transformée de Fourier. Le résultat de la transformation de coordonnées apparaît dans le plan I.

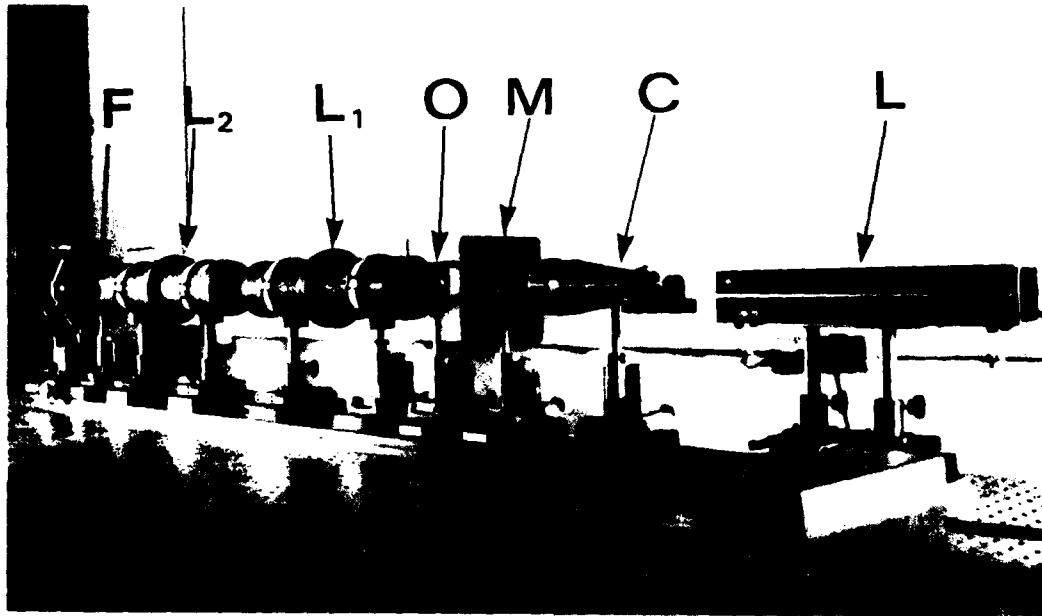


Fig. 1 Montage optique pour effectuer une transformation de coordonnées

- L = laser
- C = collimateur
- M = masque
- O = objet
- L_1 et L_2 = lentilles formant un système télescopique
- F = filtre produisant une transformation de coordonnée
- L_3 = lentille de transformée de Fourier
- I = image

Nous avons d'abord effectué la transformée de Mellin d'un rectangle dont les côtés étaient parallèles aux axes x et y . Tel qu'attendu, une transformation logarithmique de coordonnées conduit à un autre rectangle dont le rapport hauteur-largeur est différent, tel qu'illustré à la figure 2.



Fig. 2 Transformée de Mellin d'un rectangle

Le seul fait d'incliner le rectangle conduit à un résultat tout à fait différent (voir Fig. 3) illustrant bien la variance sous rotation de la transformée de Mellin.



Fig. 3 Transformée de Mellin d'un rectangle incliné

La transformée de Mellin d'un disque (voir Fig. 4) et d'un anneau (voir Fig. 5) permet de constater que même le filtre primitif utilisé pour réaliser cette expérience est capable de conserver jusqu'à un certain point les tons de gris. En effet, le centre de la transformée de Mellin du disque est brillant alors que le centre de la transformée de Mellin de l'anneau ne l'est pas.



Fig. 4 Transformée de Mellin d'un disque

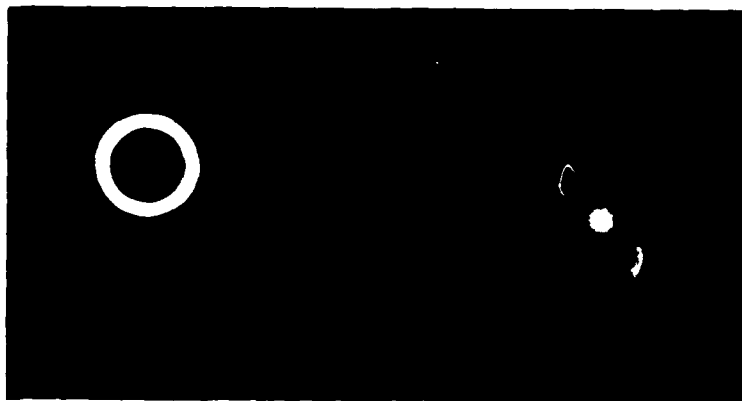


Fig. 5 Transformée de Mellin d'un anneau

Nous avons aussi effectué une transformée de Mellin d'une mire de Foucault contenant plusieurs fréquences. Nous avons été à même de constater que le filtre que nous avions en main permettait d'atteindre, malgré son manque de qualité évident, une résolution de 1 ligne/mm (voir Fig. 6).

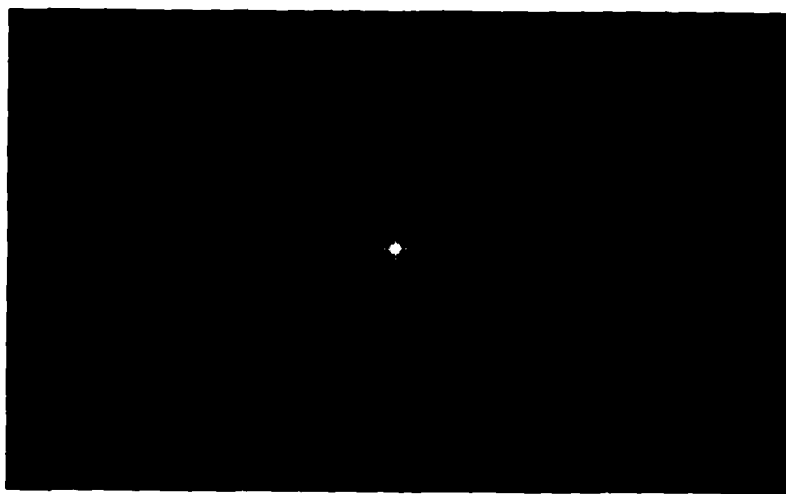


Fig. 6 Transformée de Mellin d'une mire de Foucault de 1 ligne/mm

CONCLUSION

Les premiers résultats de nos travaux sur les transformations optiques de coordonnées sont fort encourageants malgré les déficiences du filtre utilisé pour réaliser ces expériences. Nous comptons poursuivre ces travaux en essayant d'appliquer cette technique à des problèmes de distortion d'image. Nous voulons également investir un peu de temps dans l'étude théorique des effets de l'approximation d'une courbe par des segments de droite ainsi que dans la recherche de meilleurs outils pour la réalisation des filtres.

REFERENCES

1. A.B. Vander Lugt, Signal Detection by Complex Spatial Filtering IEEE Trans. Inform. Theory, IT-10:2 (1964).
2. S. Lowenthal et Y. Belvaux, Progrès récents en optique cohérente: filtrage des fréquences spatiales, holographie, La Revue d'Optique no: 1 p 1-64, janvier 67.
3. H.H. Arsenault, M.K. Séguin et N. Brousseau, Optical Filtering of Aeromagnetic Maps, Appl. Opt., vol. 13, No: 5, p 1013, mai 74.
4. R.J. Collier, C.B. Burckhardt et L.H. Lin, Optical Holography, Academic Press, 1971.
5. J.W. Goodman, Some Methods for Broadening the Class of Operations Achievable by Optical Data Processing Systems. Proc. of SPIE on Effective Utilization of Optics in Radar Systems, vol. 128 p, 46, sept. 77.
6. O. Bryngdahl, Optical Map Transformations, Opt. Com. vol. 10, no: 2, p 164, fév. 74.
7. O. Bryngdahl, Geometrical Transformations in Optics, J.O.S.A. vol. 64, no: 8, p 1092, août 74.
8. M. Born et E. Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press, p 752.
9. G.D. Cunie, F.G. Gebhardt et G.C. Orbits, A Review of Real-Time Thermoplastic Modulators. Proc. of SPIE, Effective Utilization of Optics in Radar Systems, vol. 128, p 217.
10. D. Casasent, Spatial Light Modulators and their Use in Optical Data Processing. Proc. of SPIE. Effective Utilization of Optics in Radar Systems, vol. 128, p 217.
11. W. Lee, Binary Synthetic Holograms, Appl. Opt. vol. 13, no: 7, p 1677, juil. 74.
12. D. Casasent et C. Szczutkowski, Optical Mellin Transforms Using Computer Generated Holograms, Opt. Com. vol. 19, no: 2, p 217, nov. 76.
13. J.W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, McGraw-Hill, 1968.
14. D. Casasent et D. Psaltis, Space-bandwidth Product and Accuracy of the Optical Mellin Transform. Appl. Opt., vol. 16, no: 6, p 1472, juin 77.

NON-CLASSIFIE

Security Classification

DOCUMENT CONTROL DATA - R & D		
(Security classification of title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)		
1. ORIGINATING ACTIVITY Centre de recherche pour la Defense, Ottawa, K1A 0Z4		2a. DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION non-classifié
		2b. GROUP IV
3. DOCUMENT TITLE Système Optique de Transformée de Mellin Bidimensionnelle		
4. DESCRIPTIVE NOTES (Type of report and inclusive dates) Note Technique		
5. AUTHOR(S) (Last name, first name, middle initial) BROUSSEAU, Nicole		
6. DOCUMENT DATE Feb 80	7a. TOTAL NO. OF PAGES 11	7b. NO. OF REFS 14
8a. PROJECT OR GRANT NO. 38-08-07	9a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S) Note Technique 80-12	
8b. CONTRACT NO.	9b. OTHER DOCUMENT NO.(S) (Any other numbers that may be assigned this document)	
10. DISTRIBUTION STATEMENT illimitée		
11. SUPPLEMENTARY NOTES	12. SPONSORING ACTIVITY CRAD	
13. ABSTRACT On a mis au point un système analogue (optique) permettant d'effectuer une transformée de Mellin bidimensionnelle au moyen d'un filter optique		

NON-CLASSIFIE

Security Classification

KEY WORDS

Transformée de Mellin
Système non-linéaire

INSTRUCTIONS

1. **ORIGINATING ACTIVITY:** Enter the name and address of the organization issuing the document.
- 2a. **DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION:** Enter the overall security classification of the document including special warning terms whenever applicable.
- 2b. **GROUP:** Enter security reclassification group number. The three groups are defined in Appendix "M" of the DRB Security Regulations.
3. **DOCUMENT TITLE:** Enter the complete document title in all capital letters. Titles in all cases should be unclassified. If a sufficiently descriptive title cannot be selected without classification, show title classification with the usual one-capital-letter abbreviation in parentheses immediately following the title.
4. **DESCRIPTIVE NOTES:** Enter the category of document, e.g. technical report, technical note or technical letter. If appropriate, enter the type of document, e.g. interim, progress, summary, annual or final. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.
5. **AUTHOR(S):** Enter the name(s) of author(s) as shown on or in the document. Enter last name, first name, middle initial. If military, show rank. The name of the principal author is an absolute minimum requirement.
6. **DOCUMENT DATE:** Enter the date (month, year) of Establishment approval for publication of the document.
- 7a. **TOTAL NUMBER OF PAGES:** The total page count should follow normal pagination procedures, i.e., enter the number of pages containing information.
- 7b. **NUMBER OF REFERENCES:** Enter the total number of references cited in the document.
- 8a. **PROJECT OR GRANT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable research and development project or grant number under which the document was written.
- 8b. **CONTRACT NUMBER:** If appropriate, enter the applicable number under which the document was written.
- 9a. **ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S):** Enter the official document number by which the document will be identified and controlled by the originating activity. This number must be unique to this document.
- 9b. **OTHER DOCUMENT NUMBER(S):** If the document has been assigned any other document numbers (either by the originator or by the sponsor), also enter this number(s).
10. **DISTRIBUTION STATEMENT:** Enter any limitations on further dissemination of the document, other than those imposed by security classification, using standard statements such as:
 - (1) "Qualified requesters may obtain copies of this document from their defence documentation center."
 - (2) "Announcement and dissemination of this document is not authorized without prior approval from originating activity."
11. **SUPPLEMENTARY NOTES:** Use for additional explanatory notes.
12. **SPONSORING ACTIVITY:** Enter the name of the departmental project office or laboratory sponsoring the research and development. Include address.
13. **ABSTRACT:** Enter an abstract giving a brief and factual summary of the document, even though it may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall end with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (TS), (S), (IC), (R), or (U).

The length of the abstract should be limited to 20 single-spaced standard typewritten lines; 7¹/₄ inches long.
14. **KEY WORDS:** Key words are technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloging the document. Key words should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location, may be used as key words but will be followed by an indication of technical context.

DATE
FILME