

TRAITEMENT ET STOCKAGE OPTIQUE-HOLOGRAPHIQUE DES
INFORMATIONS PHOTOGRAMMETRIQUES

Niculae Răducanu, ing., docteur ès sciences
Institutul de Geodezie, Fotogrammetrie, Cartogra-
fie și Organizarea Teritoriului
România
Comission II

Summary

Some aspects and results regarding both the filtering of remote sensing recordings obtained by optical-electronic investigating systems within the space frequency, and optical-holographical storage of the topographic and photogrammetric data referring to visualized photograph, maps and texts, finally to be presented using photographic means are discussed in the paper. A device for optical filtering in coherent light, hologram making and plotting has been developed to be used in practical experiments.

Les débuts du traitement optique des informations coïncident avec les premières manipulations contrôlées du spectre de la distribution lumineuse, ce qui a permis la définition de la transformée de Fourier en optique et du concept de la fréquence spatiale. L'analyse de Fourier représente la forme la plus adéquate d'expression des processus qui ont lieu dans les systèmes de traitement optique des informations.

A partir du fait qu'une lentille, conçue comme un transformateur de phase, réalise la transformée de Fourier en optique qui représente une sous-routine, ou l'unité la plus opérationnelle dans le traitement des informations, on va constater le développement d'un nouveau domaine intitulé "Filtration spatiale à l'aide des systèmes optiques". Par la filtration on comprend toute opération linéaire réalisée par un système optique et appliquée à un signal bidimensionnel dont les buts sont: l'amélioration du rapport signal/bruit, la reconnaissance et l'identification des formes, l'accentuation des contours, la détection automatique des parallaxes longitudinales (absolues) et transversales, le contournement des reliefs, etc. Dans ces applications les processeurs optiques sont compétitifs avec les processeurs électroniques et fonctionnent déjà avec des effets économiques très importants.

Les possibilités de réalisation du traitement optique sont déterminées par les facteurs suivants: une source cohérente qui détermine un champ optique qui peut être modulé en amplitude et en phase pour représenter un signal, l'existence d'une relation de transformation Fourier en système et la capacité de réaliser des filtres complexes par les techniques holographiques.

A partir des problèmes présentés en tant que support, ce travail présente certains aspects et résultats concernant la filtration en fréquence spatiale des enregistrements de télédétection obtenus à l'aide des systèmes d'exploration optique-électronique et le stockage optique-holographique des informations topo-photogrammétriques relatives aux photographies, aux cartes et aux textes, qui ont été visualisés ensuite par la photographie. On a conçu et réalisé pour l'expérimentation une installation de filtrage optique, de holographie et de restitution holographique.

Le filtrage optique en fréquence spatiale

Le plus utilisé système dans le traitement optique

des informations, surnomé la configuration $4f$, est le système de filtrage optique spatial dans le domaine de la fréquence (fig.1).

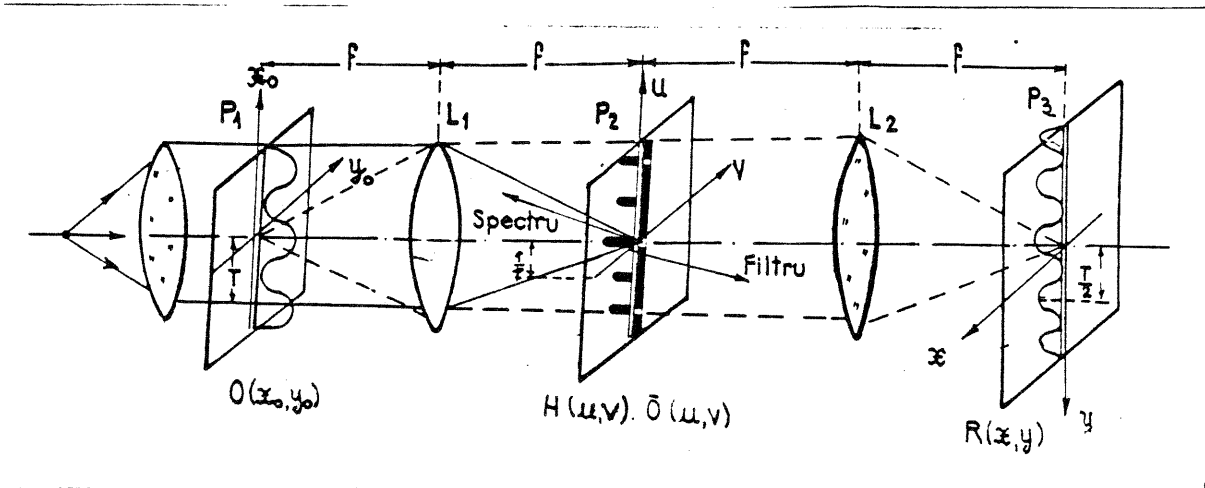


Fig.1. Configuration optique pour la filtration en fréquence spatiale

Il y est placé un transparent $O(x_0, y_0)$ de transmittance en amplitude qui est illuminé parallèlement de manière cohérente. Si le plan P_1 est le plan focal antérieur de la lentille sphérique, alors la distribution lumineuse du plan P_2 sera le spectre de l'objet $\bar{O}(u, v)$.

Dans le plan P_2 on introduit un transparent à transmittance complexe $H(u, v)$, qui modifie par multiplication le spectre des données de l'entrée:

$$\bar{R}(u, v) = H(u, v) \cdot \bar{O}(u, v) \quad (1)$$

La lentille L_2 affiche la transformée de Fourier de $R(u, v)$ dans le plan de sortie, P_3 , comme un produit de convolution

$$R(x, y) = h(x, y) * O(x, y) = \iint_{-\infty}^{+\infty} h(x-p, y-p) O(p, q) dp dq \quad (2)$$

La relation (2) représente l'expression du champ à la sortie d'un système de filtration spatiale. L'opération est nommée filtration dans le domaine de la fréquence car le traitement est effectué par l'introduction de la transparence du type de la fonction de transfert $H(u, v)$ dans le plan P_2 des fréquences spatiales.

Pour la mire de la fig.1 qui a eu la période T , après la filtration qui a retenu les ordres impaires, à la

- 3 -

sortie sa période devient $T/2$.

Les filtres qu'on utilise dans les opérations de filtration sont réalisés sous diverses formes: binaire, en amplitude, de phase et complexes.

C'est parce que la réalisation des filtres complexes est faite holographiquement qu'on va analyser la modalité de les obtenir et les perspectives offertes par leur utilisation dans le filtrage optique spatial.

L'utilisation des filtres holographique permet des travaux plus difficiles, comme, par exemple, la détection d'un signal connu $s(x,y)$ d'un bruit de fond stationnaire et additif $n(x,y)$. Dans cette situation, le filtre holographique qui optimise le rapport énergie du signal/énergie du bruit a la fonction de transfert.

$$H(u,v) = \frac{CS^*(u,v)}{|N(u,v)|^2} \quad (3)$$

où $S^*(u,v)$ est le spectre conjugué du signal, $|N(u,v)|^2$ est la densité spectrale du bruit et C , une constante.

Si les données de l'entrée,

$$O(x_0, y_0) = s(x_0, y_0) + n(x_0, y_0) \quad (4)$$

sont introduites dans le plan P_1 (fig.1) et si $H(u,v)$ est introduit dans le plan P_2 , alors la réponse $R(x,y)$ aura les propriétés désirées.

La technique d'obtention des filtres holographiques part du fait qu'une fonction complexe peut être obtenue par la modulation d'une fréquence porteuse avec une fonction réelle.

Le montage optique utilisé est celui des hologrammes Fourier (fig.2).

Supposant qu'on introduit dans le montage le signal $s(x_0)$ pour le holographier, la hologramme enregistrée et développée a l'équation:

$$t(x) \propto |H(x)|^2 = R_0^2 + |O(x)|^2 CS(x) e^{-jkx \sin \alpha_R} \quad (5)$$

$$R_0 CS^*(x) e^{jkx \sin \alpha_R}$$

La dernier terme de l'équation (5) a la forme re-

- 4 -

quise par le filtre (3) et peut être séparé des autres termes par l'angle α_R

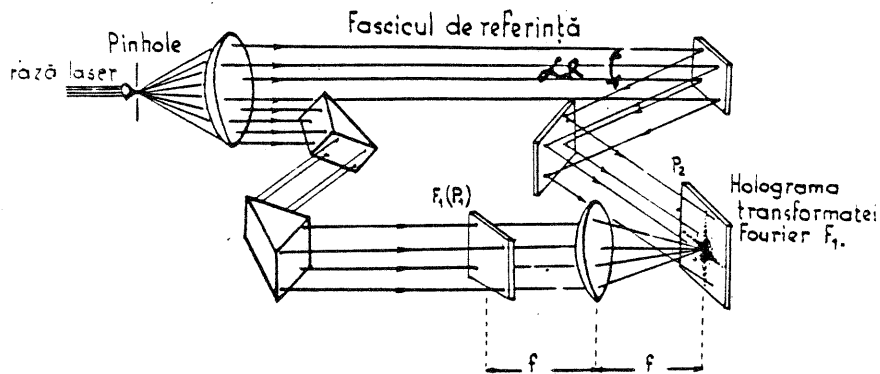


Fig.2 Le montage optique pour l'obtention des hologrammes Fourier

Si, à présent, dans le système $4f$ à l'entrée on a le signal $O(x_0) = s(x_0) + n(x_0)$ et dans le plan P_2 on introduit le filtre holographique $t(x)$, la réponse du système est de la forme:

$$\begin{aligned}
 R(x) = & \left[R_0^2 + |O(x)|^2 \right] O(x) + R_0 \int_{-b}^{+b} s(p + f \sin \alpha_R - x) \cdot s(p) dp + \\
 & R_0 \int_{-b}^{+b} s(p - f \sin \alpha_R - x) \cdot s(p) dp + \\
 & R_0 \int_{-b}^{+b} s(p + f \sin \alpha_R - x) \cdot n(p) dp + \\
 & R_0 \int_{-b}^{+b} s(p - f \sin \alpha_R - x) \cdot n(p) dp
 \end{aligned} \tag{6}$$

Le troisième et le quatrième termes de la relation (6) représentent l'autoconvolution et l'autocorrélation du signal $s(x)$ respectivement. On reconnaît le terme d'autocorrélation par un point lumineux situé sur le plan P_3 au point $X = -f \sin \alpha_R$ ce qui représente la réponse qu'on cherchait.

- 5 -

Le filtrage holographique adapté présenté ci-dessus a été déjà utilisé par l'auteur en 1975 pour détecter les images correspondantes dans un corrélateur image-hologramme, où le signal de corrélation représentait des profils de parallaxes longitudinales utilisées pour l'orthophotoredressement des photographies.

Dans le présent travail, ayant à ma disposition un transformateur Fourier optique du type TROPEL qui fonctionne à la longueur d'onde du laser He-Ne de 6328\AA , un laser de 35 mW et un collimateur TROPEL, j'ai réalisé la configuration 4f pour la filtration spatiale d'un enregistrement de télédétection, tout en éliminant le bruit d'exploration et les taches des nuages (fig.3).

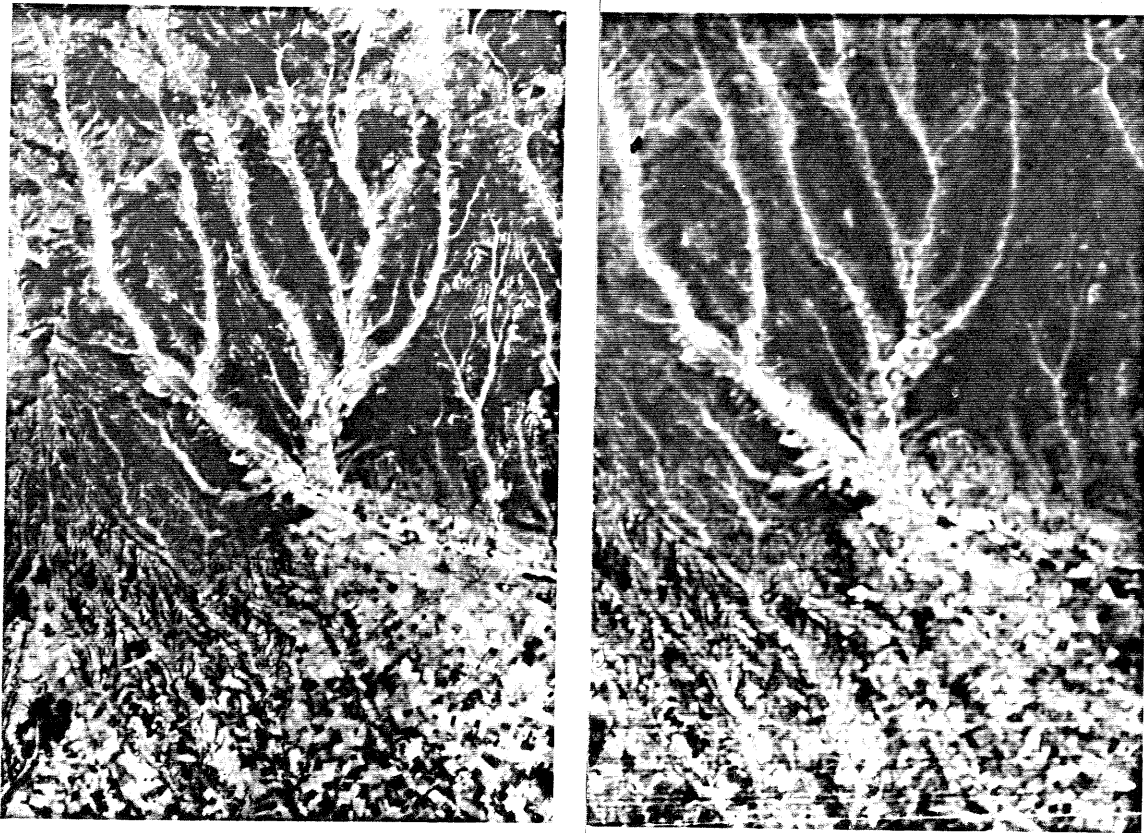


Fig.3 Le résultat du filtrage en fréquence spatiale

La distribution lumineuse du plan Fourier est discrète pour les signaux périodique (coefficients Fourier) et

- 6 -

continue pour les signaux non-périodiques (transformée de Fourier).

On retrouve la composante continue (fréquence spatiale zéro) dans le centre du spectre et les hautes fréquences spatiales sont symétriques et éloignées par au centre du spectre (fig.4).

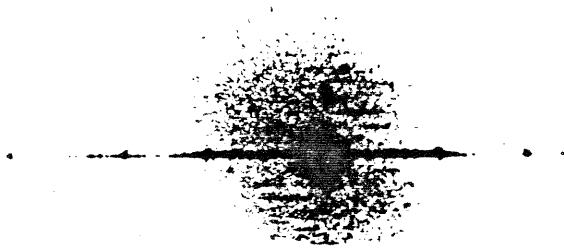


Fig.4 Le spectre du signal et du bruit utilisé dans l'opération de filtration

La filtration proprement dite est faite en éliminant dans le plan Fourier les composantes du bruit, ce qui peut être facilement visualisé par la comparaison entre le spectre de l'image perturbée et le spectre de l'image non-perturbée.

Le stockage holographique des informations topophotogrammétriques

Le stockage holographique des informations est considéré l'une des directions principales d'application des lasers dans les années à venir. Il existe à présent dans le monde plus de 20 centres de recherche qui étudient les différentes variantes des systèmes optiques de stockage des informations. On fournit de grands efforts dans cette direction car les mémoires optiques et holographiques promettent une nouvelle voie de développement dans l'hierarchie du stockage, dont l'importance est très sérieuse à l'époque actuelle de l'assaut informationnel.

On peut classifier les systèmes de stockage optique des informations en mémoires optiques et mémoires holographiques (digitales, analogiques et associatives).

Les plus importants paramètres qualitatifs d'un système de stockage sont l'accès aléatoire, la redondance, l'extension des tolérances mécaniques et associatives, etc. Grâce à ces paramètres les mémoires holographique peuvent acquérir

- 7 -

l'une des formes suivantes:

- mémoire d'archive sans possibilités d'effacement ou de complétion mais à très grande capacité (10^{12} - 10^{15} bits/cm²);

- mémoire à grande capacité, avec certaines possibilités d'effacement ou de complétion, compétitives avec les bandes magnétiques.

- mémoire-tampon, à accès aléatoire, compétitive avec les mémoires à ferrites et semi-conducteurs.

Par rapport aux mémoires optiques, les mémoires holographiques offrent une redondance plus grande aux défauts, à la poussière, etc., permettent un enregistrement dans le volume du matériel photosensible.

L'organisation des enregistrements dans la mémoire, afin d'obtenir une plus grande capacité peut être faite par deux méthodes: multiplexage spatial et multiplexage en fréquences spatiales.

La multiplication spatiale consiste dans l'enregistrement des pages holographiques l'une à côté de l'autre, sous forme de sous-hologrammes, par la division rationnelle des coordonnées spatiales, du matériel à stocker, réalisée à l'aide des masques (fig.5).

Le nombre d'images qui peuvent être stockées sur une plaque photo 2D, résulte du rapport entre le produit espace x bande (PSB) du matériel à enregistrer et le produit espace x bande approprié à une seule image.

$$n_{\max} = \frac{(PSB)_m}{(PSB)_o} = \frac{L_1 L_2}{D_1 D_2} \cdot \left(\frac{d}{\lambda}\right)^2 \quad (7)$$

où $L_1 X L_2$ est le format de la plaque holographique, $1/\lambda$ la résolution, et $D_1 X D_2$ et $1/d$ sont le format de l'image enregistrée et la résolution, respectivement.

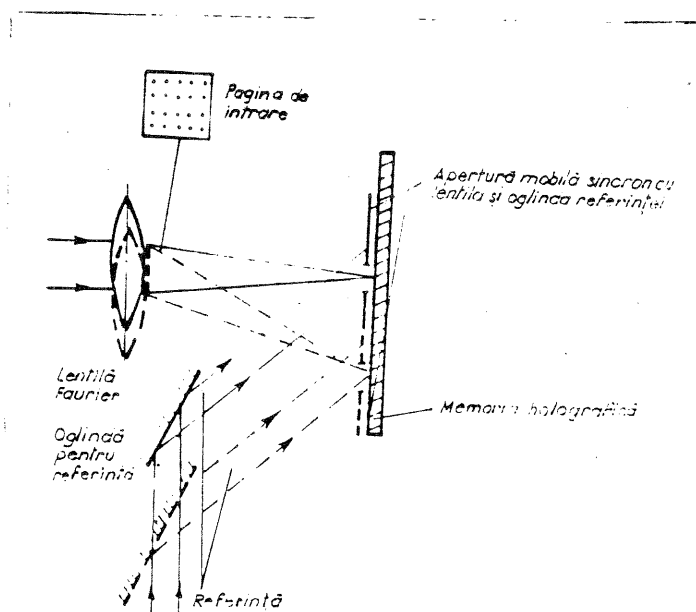


Fig.5 Le montage d'enregistrement quasi-Fourier et le multiplexage spatial sous forme de sous-hologramme.

- 8 -

Pour L_1 et $L_2 = 100 \times 125$ mm, $\lambda = 2200$ - \AA , $D_1 \times D_2 = 180 \times 180$ mm et $d^{-1} = 100$ - \AA on obtient $n=184$ images.

Ce nombre est en réalité moindre et varie en fonction de la puissance du laser et du rapport signal/bruit.

Le multiplexage en fréquences spatiales consiste de l'enregistrement des pages à l'aide des hologrammes en volume, formées après de multiples expositions sur le même volume de matériel, et de la variation de l'angle (θ) formé par le faisceau signal et le faisceau de référence.

Pour l'enregistrement des hologrammes on peut utiliser deux méthodes:

- l'enregistrement Fourier ou quasi-Fourier dans un plan proche du plan Fourier;
- l'enregistrement Fourier avec masque de distribution de phase aléatoire, mise en contact avec la page d'entrée.

Le premier système (Siemens AG), expérimenté par nous sous une forme simplifiée, consiste de l'enregistrement par le multiplexage spatial de 32×32 blocs de données, ayant chacun une capacité de 2×10^4 bits. Les données de l'entrée sont introduites à l'aide des masques binaires qui peuvent être changées mécaniquement. L'enregistrement est fait sur des plaques holographiques, dont la dimension de chacune est de 2-3 mm.

Sans avoir la prétention d'être inclus aux systèmes très modernes, on a réalisé et expérimenté au laboratoire une variante du système de stockage Siemens de notre invention, pour l'enregistrement des hologrammes Fourier, le multiplexage spatial et le multiplexage en fréquence spatiale.

Le processus technologique de stockage holographique des informations comprend les étapes suivantes:

- la réalisation et la vérification du montage;
- la holographie;
- le traitement au laboratoire;
- la lecture et l'enregistrement des hologrammes.

La vérification du système de stockage a comme but le fonctionnement du laser afin de réaliser les faisceaux nécessaires à l'enregistrement et l'égalisation des voies optiques avec une précision de l'ordre des centimètres.

L'enregistrement de la hologramme suppose l'existence des étapes suivantes: l'emplacement de l'original qui doit être holographié dans le porte-cliché, la réalisation du rapport entre les intensités des faisceaux signal et référence, l'introduction de la plaque holographique en utilisant des solutions spéciales pour la résolution fine.

La lecture des hologrammes est faite à l'aide du même montage optique mais en utilisant seulement le faisceau de référence orienté convenablement pour la prise des photos. Celle-ci est réalisée avec un appareil ordinaire par l'enregistrement d'une image virtuelle de 1-er ordre. Les hologrammes Fourier sont enregistrées par la projection sur un écran situé à une certaine distance en fonction de l'échelle à laquelle on veut enregistrer l'image.

- 9 -

Dans la figure 6a et b on présente les résultats enregistrés de manière photographique à partir des hologrammes d'une photogramme, d'un fragment de carte et d'un texte.

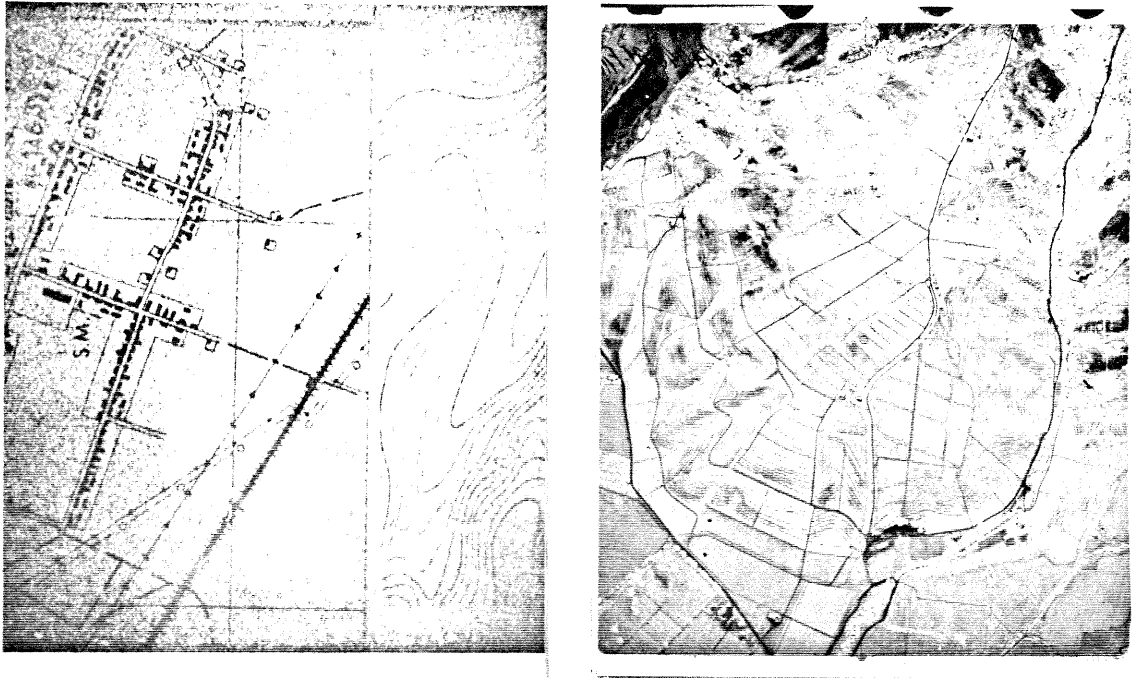


Fig.6 Enregistrements photographiques à partir des hologrammes.

La figure 7 représente le multiplexage spatial d'un bloc formé de 32 x 32 sous-hologrammes digitales.

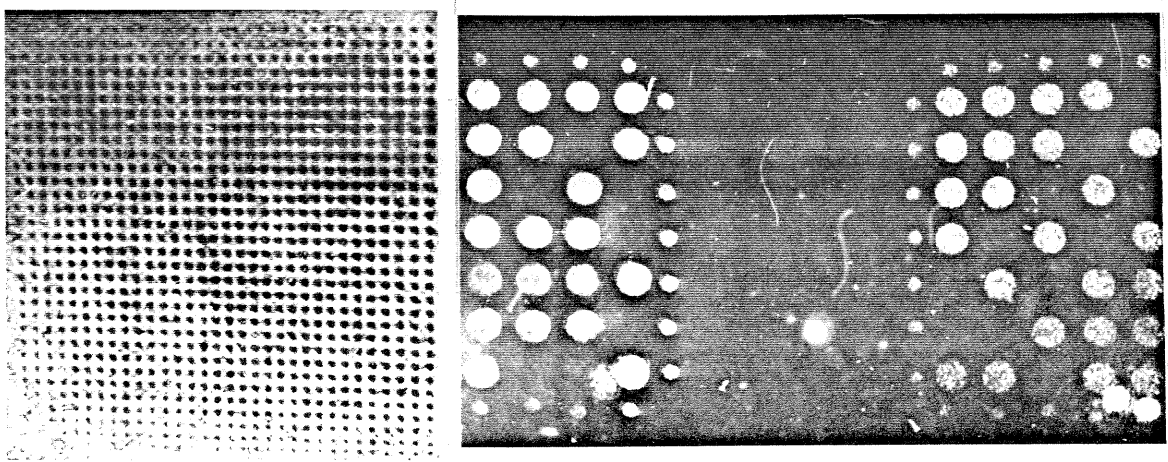


Fig.7 Enregistrement par multiplexage spatial.

- 10 -

Le délai pour la lecture des hologrammes est court. Il est prolongé en fonction de la forme sous laquelle est présentée l'information et des processus technologiques classiques qui interviennent (prise des photos, traitement, séchage, copie).

D'après les recherches entreprises, les appareils réalisés et le stockage holographique il résulte les conclusions suivantes:

- Par l'utilisation des filtres en amplitude et holographiques le filtrage en fréquence spatiale peut être appliqué avec succès pour l'amélioration de la qualité des enregistrements photographiques, la reconnaissance des contours, la détection des images correspondantes et des profils de la parallaxe.

- La compression des informations en hologrammes Fourier réduit l'espace de stockage d'environ 50 fois par rapport au microfilmage, simplifie la manipulation et la conservation des informations.

- La possibilité au transfert de toutes les informations topogéodésiques sur la calculatrice et leur codification holographique.

- Vu les conditions et les possibilités existantes, on considère que la variante de stockage holographique présentée est convenable et réalisable.

Après une expérimentation plus détaillée et après avoir trouvé la solution de nombreux problèmes adjacents on pourra essayer de réaliser un système automatique d'enregistrement des mémoires holographiques, en tant que partie intégrante d'un processus intégré d'obtention, et de stockage automatique des cartes topographiques.

B I B L I O G R A P H I E

1. OPRESCU NICOLAE - Cours de télédétection, București, 1980.
2. POPESCU NICOLAE, MARIUS OPRAN - Laseri, aplicații, Editura militară, București, 1979.
3. RADUCANU NICOLAE - Contribuții la problema ortofotoredresării. Teză de doctorat, București, 1976.
4. RADUCANU NICOLAE - Some considerations on the application of the photogrammetric processes to holograms. KIV, International Congress of Photogrammetry, Hamburg, 1980.