

HOLOGRAPHIE

(suite voir n° 1446)

LA microscopie fut la première application des hologrammes : c'est encore un domaine plein d'intérêt puisque l'holographie ne nécessite aucune lentille optique, qu'elle a, en principe, une profondeur de champ infini, et s'applique à plusieurs types de rayonnements électromagnétiques, électronique ou acoustique.

En général, la résolution des images produites lors de la reconstruction, est limitée par l'ouverture des hologrammes : en microscopie, la résolution dépend de la longueur d'onde utilisée pour enregistrer l'hologramme, des dimensions de la source éclairante et du grain de la plaque photographique. Ce grandissement de l'image est, par contre, une fonction du rayon de courbure du front d'onde reconstruit, et ce rayon dépend lui-même du rapport des longueurs d'onde ayant servi à enregistrer et à reconstruire l'hologramme. En augmentant la longueur d'onde lors de la reconstruction, on améliore le grandissement, mais on doit modifier l'échelle de l'hologramme pour ne pas perdre en résolution.

L'un des grands avantages de la microscopie holographique est la grande profondeur de champ de l'hologramme : dans un microscope conventionnel, plus la résolution est grande, plus la profondeur du champ est faible : avec un micron de résolution, ce microscope classique aura une profondeur de champ de trois microns environ; un microscope holographique, de même résolution, pourra disposer d'un champ de 20 cm. L'intérêt de la forte profondeur de champ est particulièrement important pour l'examen d'objets microscopiques en mouvement dans un échantillon épais.

L'éclairage de l'objet s'obtient par un laser à impulsions qui « gèle » en quelque sorte l'image de l'échantillon sur la plaque photographique. A la reconstruction, on place l'hologramme sous la lunette du microscope et l'on peut viser différents plans d'étude. Cette technique a servi à l'analyse de la distribution de particules dans des aérosols et des liquides.

TRAITEMENT DE L'INFORMATION

L'holographie présente des applications de grande importance dans le domaine des traitements de l'information : mémoires, lecteurs optiques, appareils de reconnaissance des formes, traducteurs, peuvent être holographiques.

Deux faisceaux qui interfèrent produisent un hologramme contenant toutes les informations relatives à ces deux faisceaux. Si l'un des faisceaux « transporte » un mot écrit en un certain langage, tandis que l'autre contient le même mot en un autre langage, l'hologramme résultant est un traducteur automatique : il suffit d'éclairer l'hologramme par le faisceau contenant le mot à traduire; le mot traduit apparaît alors à l'observateur.

Une variante de ce schéma consiste à réaliser un hologramme par interférence de deux faisceaux provenant de parties différentes du même objet. Si l'on ne connaît qu'une partie d'un objet inconnu, on peut « interroger » l'hologramme et extraire le reste de l'objet. On estime que par cette technique on pourrait enregistrer le contenu d'un livre de 300 pages sur l'hologramme et retrouver une page déterminée à partir de la connaissance d'une ligne du texte.

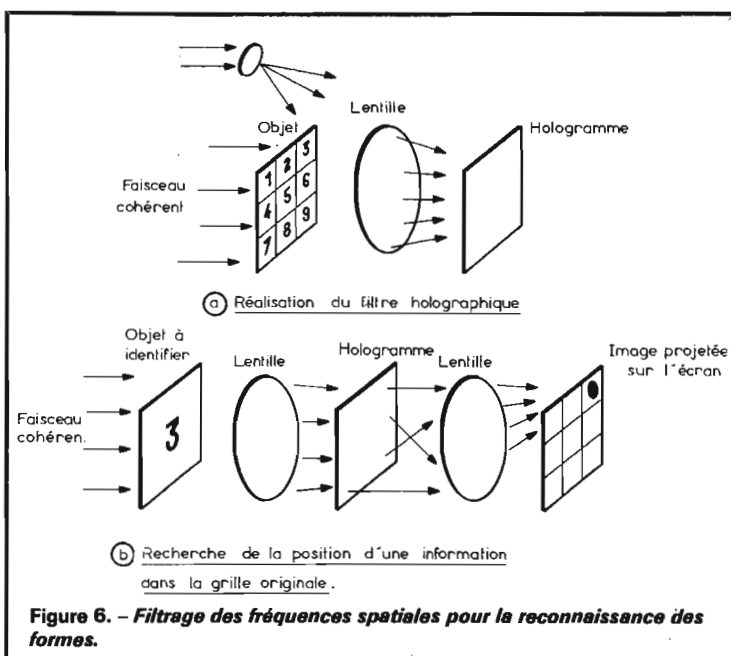
Les laboratoires de recherche de la firme américaine BELL TELEPHONE travaillent à la mise au point de mémoires optiques de grande capacité, qui pourraient stocker jusqu'à 100 millions de bits d'informations élémentaires, avec un temps d'accès à l'information de 10 microsecondes.

Le filtrage des fréquences spatiales constitue une troisième application de l'holographie dans le domaine du traitement des informations. Supposons que l'on ait photographié, sur une diapositive, une grille contenant les nombres entiers de 1 à 9. On réalise un hologramme de FOURIER avec cette diapositive. Si maintenant on projette (Fig. 6) l'un des nombres (3 par exemple) sur un écran, en interprétant, dans le rayon lumineux, l'hologramme venant d'être réalisé, l'image qui apparaît sur

cet écran, représente un point lumineux positionné à l'emplacement occupé par le chiffre 3 dans la grille originale. Comme on a réalisé ici un hologramme de FOURIER, la méthode précédente de reconnaissance de forme, dite par « filtrage des fréquences spatiales » n'est pas affectée par tout mouvement de translation de l'objet; néanmoins, un mauvais alignement de l'objet et de l'hologramme nuit à la reconnaissance.

Cette technique trouve une multitude d'applications : lecture des 13 chiffres de la sécurité sociale ou des codes postaux, reconnaissance des empreintes digitales en criminologie, recherche de la présence d'objets dans une image...

IBM a réalisé des hologrammes sans exposer des objets à un faisceau adhérent. Les hologrammes étaient enfermés dans les tores de



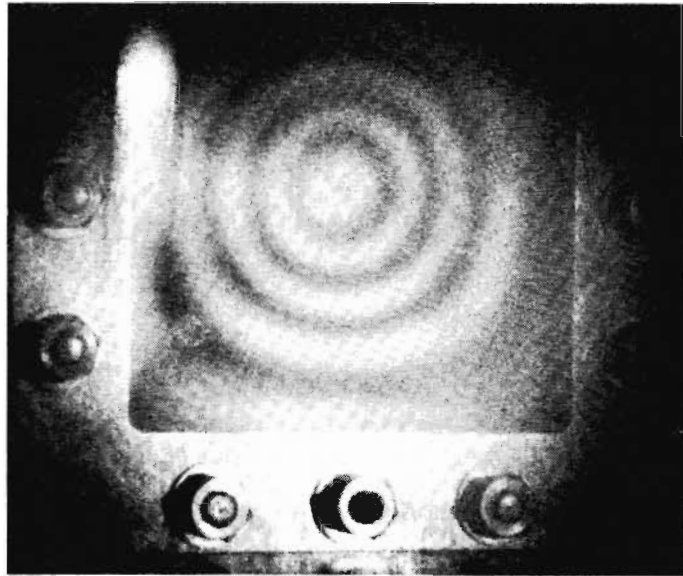


Figure 7. — Une pointe se trouve cachée derrière ce cadre. Deux hologrammes ont été réalisés sur la même plaque photographique, dont l'un avec la pointe exerçant une pression sur le cadre. Le léger déplacement du cadre a engendré la présence de raies d'interférences dans l'image reconstruite.

(Cliché laboratoires de Marcoussis)

la mémoire centrale de l'un des ordinateurs IBM, ils ont été « reconstruits » digitalement par l'ordinateur. La technique de filtrage s'applique ici aisément puisque l'on peut agir sur les digits binaires contenus dans la calculatrice électronique. Les opérations mathématiques les plus diverses — corrélation, intégration, différenciation, addition, soustraction, multiplication, division — peuvent être réalisées par holographie : l'ordinateur holographique, s'il n'est pas pour demain, pourrait néanmoins être un but de recherches pour l'industrie informatique.

L'OBJET A BOUGÉ!

Si l'on reconstruit un hologramme à grand angle avec le faisceau diffusé par l'objet, les deux images (celle de l'objet et l'image reconstruite) vont fusionner et l'observateur ne verra qu'une seule image. Mais si l'objet a légèrement bougé entre le moment de la prise de vue et le moment de la reconstruction, et si le déplacement est au moins égal à une demie longueur d'onde du faisceau, les images interfèrent (Fig. 7).

C'est le principe même de l'interférométrie holographique qui trouve actuellement d'énormes débouchés. La présence d'un déplacement se traduit par une interférence entre deux hologrammes : des franges d'interférences apparaissent lors de la reconstruction.

La technique peut servir à comparer deux objets théoriquement identiques : l'hologramme de l'objet témoin est comparé à l'hologramme de l'objet à l'essai; si ces deux objets ne sont pas réellement identiques, des franges d'interférences apparaissent à la reconstruction.

On peut dans certains cas, enregistrer les deux hologrammes sur la même plaque photographique, avant de la développer. Toute modification géométrique entre les deux expositions se traduit sur la plaque photographique servant de support aux hologrammes, par la présence de raies d'interférences visibles lorsque l'on éclaire la plaque par le faisceau de référence.

Par cette méthode, on peut photographier des modes de vibrations ou photographier des défauts de structures (Fig. 8).

L'interférométrie permet d'enregistrer également toute variation de l'indice de réfraction de milieux transparents. L'information enregistrée aussi s'appelle un « objet » de « phase »; cet objet est invisible normalement à l'œil nu, mais il est visible par interférométrie holographique, puisque toute variation d'indice entraîne une variation du parcours des ondes. De la sorte, on a photographié des ondes de choc dans les souffleries employées pour des besoins de la recherche aéronautique.

La technique peut encore servir à améliorer la qualité de photographies floues. Il a été démontré, à l'université de Stanford, que l'image produite à partir d'un

hologramme réalisé en présence d'une turbulence statique entre la plaque photographique et l'objet, était nettement plus claire qu'une image photographique classique obtenue dans les mêmes conditions. Cette constatation vient du fait que le faisceau de référence et le faisceau diffusé par l'objet traversent tous les deux la zone trouble, et leur parcours est modifié de la même manière; en photographie par contre, l'image est très perturbée par la zone trouble.

De telles zones troubles se rencontrent sous la surface des océans. D'où l'intérêt à développer de nouveaux types d'hologrammes : le plus souvent on réalise des hologrammes acoustiques avec des ultrasons.

LA ROUTE EST ENCORE LONGUE!

Les hologrammes trouvent encore beaucoup d'autres applications : nous n'avons pas parlé des hologrammes micro-ondes qui pourraient être utilisés pour réaliser des photographies tridimensionnelles la nuit ou par temps de brouillard.

On attend beaucoup des hologrammes : certains auteurs vont même très loin et espèrent voir un jour la télévision holographique — en relief bien entendu!

En fait, une longue route est ouverte à la recherche avant que soit commercialisée la télévision holographique. Des tentatives ont certes été réalisées, par exemple en

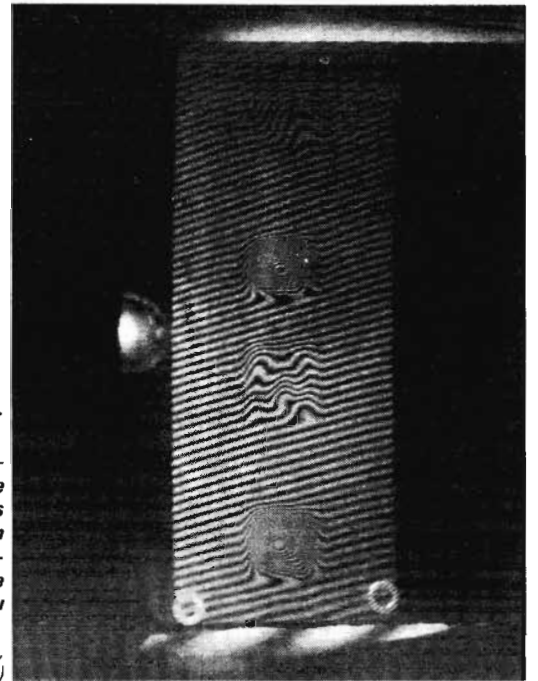


Figure 8 ▶

L'interférométrie holographique a permis de trouver quatre défauts dans cette structure en « nid d'abeille » recouverte d'une couche d'époxy et d'une peau de bore.

(Cliché GC Optronics, Inc.)

collant bout à bout une série d'hologrammes pour en faire un film holographique de 60 centimètres de long, avec une durée de projection de 2 secondes! On a également enregistré dans un hologramme de volume, sept vues d'un objet en mouvement : lors de la reconstruction, dans un faisceau monochromatique cohérent, on pivotait la plaque photographique pour reconstituer le mouvement. Néanmoins, toutes ces tentatives ne constituent qu'un tout petit pas vers la télévision en relief.

Le problème de la TV holographique pose d'autres problèmes, tant techniques qu'économiques : une transmission holographique d'émissions télévisées requerrait, si elles étaient réalisables, une bande passante extrêmement large, et coûterait en fait très cher.

L'holographie ne servira pas à fournir l'impression de relief dans la télévision avant longtemps. Mais il n'est pas dit que les hologrammes ne soient d'aucune utilité en télévision : la RCA tente de mettre au point des vidéo-cassettes en couleurs utilisant le principe de l'enregistrement holographique. C'est le système connu sous la dénomination « Selecta-vision ».

L'holographie a donc apporté un nouveau moyen d'aborder les problèmes technologiques qui apparaissent jusqu'alors sans solution simple. L'avenir, semble-t-il, nous réserve dans ce domaine d'étonnantes surprises...

MARC FERRETTI