

# POSSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A HOLOGRAFIEI ÎN RESTAURAREA ȘI VALORIFICAREA PATRIMONIULUI CULTURAL NAȚIONAL

de LÁSZLÓ TORÓ  
și CRISTIAN VINTILĂ

1. **Introducere.** Metoda de înregistrare a informațiilor provenite de la un obiect numită holografie a fost propusă în 1948 de Denis Gábor și apoi dezvoltată în anii 1962-1964 de E.N. Leith și J. Upatnieks, folosind generatori cuantici (laseri). În principiu metoda constă în înregistrarea tuturor informațiilor provenite de la un obiect - amplitudine și fază de radiație -, fapt care o deosebește de fotografia clasică în care se înregistrează doar informația privitoare la amplitudinea radiației. Acest avantaj face posibilă redarea unor imagini tridimensionale cu profunzime de câmp mare. Metodele fotografiei în relief (stereoscopică) limitează profunzimea și condițiile de vizualizare, astfel încât holograma este echivalentă cu un număr de fotografii luate dintr-un anumit punct de observație și focalizate cu anumite profunzime. Alte avantaje ale imaginii holografice constau în faptul că hologramele înregistrate pe un material de contrast ridicat permit reproducerea unei game mari de tonuri ale obiectului și, în același timp, calitatea imaginii holografice este mai puțin influențată de caracteristicile materialului fotosensibil decât calitatea unei imaginii fotografice. De asemenea, o mică porțiune a hologramei permite redarea unei imaginii complete a obiectului.

1.1. **Principiul metodei holografice.** Așa cum am precizat, în cadrul acestei metode ne interesează înregistrarea informației purtate de radiație atât în privința amplitudinii, cât și a fazei. Materialele fotosensibile înregistrează doar intensitatea radiației (proporțională cu pătratul amplitudinii) astfel încât înregistrarea informației privitoare la fază trebuie făcută prin conversia în variații de intensitate care se soluționează practic prin metode interferometrice. Unda transmisă sau difuzată de un obiect este suprapusă peste o undă de referință (provenită de la aceeași sursă), iar rezultatul este o figură de interferență înregistrată pe placa fotografică.

Considerând că unda difuzată de un obiect cade pe o placă fotografică aflată într-un plan  $P$  în punctul  $M(y, z)$ , producând excitația de amplitudine complexă  $a_0(y, z)$ , figura de difracție este caracterizată de funcția  $|a_0(y, z)|^2$ . Suprapunând unda de referință coerentă cu prima, de amplitudine complexă  $a_r(y, z)$ , iluminarea plăcii în punctul de coordonate  $y, z$  va fi:

$$E(y, z) \sim |a_0(y, z) + a_r(y, z)|^2 = |a_0(y, z)|^2 + |a_r(y, z)|^2 + a_r^*(y, z) a_0(y, z) + a_r(y, z) a_0^*(y, z).$$

În acest fel se obține, aplicând o tehnică fotografică adecvată, o placă fotografică de transparență:  $T(y, z) \equiv T(y, z) \sim E(y, z)$  (\*) care se comportă ca o rețea de difracție complicată ce poate fi imaginată ca o suprapunere de rețele elementare cu variația transmisiei sinusoidală, fiecare cu o frecvență spațială și o fază diferită. Placa astfel obținută constituie, de fapt, holograma obiectului.

Reconstrucția frontului de undă provenită de la obiect (obținerea imaginii obiectului) se realizează iluminând holograma cu un fascicul de reconstrucție, care de obicei se alege identic cu cel de referință. Obținem astfel un câmp de amplitudine complexă:

$$a(y, z) = [ |a_o(y, z)|^2 + |a_r(y, z)|^2 ] a_r(y, z) + |a_r(y, z)|^2 a_o(y, z) + a_r^2(y, z) a_o^*(y, z).$$

În ipoteza că fasciculul de referință iluminează holograma în mod uniform  $|a_r(y, z)|^2 = \text{const.}$ , deci termenii acuației de mai sus reprezintă:

- primul termen pentru fasciculul de referință;
- al doilea termen reprezintă fasciculul obiect care dă imaginea virtuală a obiectului;
- al treilea termen reprezintă fasciculul obiect a cărui amplitudine este complex conjugată față de cea din termenul al doilea și care dă imaginea reală a obiectului, dar nu ca o lentilă, deoarece punctele mai apropiate de holograma obiectului vor avea imaginile tot mai apropiate de hologramă.

Precizăm că imaginea virtuală este cea care poate fi fotografiată, pe când imaginea reală se poate proiecta pe un ecran. Proportionalitatea (\*) se traduce în practică prin relația:

$$T \sim E^{-\frac{1}{2}}$$

unde  $\gamma$  este panta curbei de înnegrire a plăcii holografice. Prin tehnici fotografice adecvate se caută realizarea fie a condiției  $\gamma = -2$  (prin copierea plăcii inițiale sau folosirea plăcilor reversibile), fie a condiției  $|a_r| \gg |a_o(y, z)|$  care dă o relație mai generală între  $|T|$  și  $E$  de forma  $|T| = A - BE$  și asigură o reconstrucție a frontului de undă similară cu cea prezentată anterior.

**1.2. Interferometria holografică.** Prin asocierea holografiei cu metodele interferometrice a fost creată interferometria holografică, care reprezintă o tehnică de investigare a modificărilor formei, calității și distribuției spațiale a obiectelor prin intermediul informațiilor de amplitudine și fază purtate de undele coerente reflectate sau difuzate de obiecte. Spre deosebire de metodele interferometrice obișnuite, ce asigură în general doar compararea a două fronturi de undă apropiate, de complexitate redusă (plane sau sferice) ce există în același moment de timp, interferometria holografică datorită posibilităților oferite de holografie în înregistrarea și compararea unor fronturi de

undă de complexitate arbitrară și existente la momente de timp diferite. În principiu, metoda constă în suprapunerea a două fronturi de undă provenite de la obiect sau de la imaginea lui holografică a cărei rezultat este apariția unor franje de interferență fie pe marginea imaginii rezultate, fie în imediata ei vecinătate.

## 2. Aplicații în restaurarea și expunerea obiectelor de patrimoniu

2.1. Aplicațiile metodei holografice. Având în vedere avantajele metodei holografice față de metodele clasice de fotografiere, propunem utilizarea acestei metode pe parcursul procesului de restaurare, deoarece imaginea holografică fiind tridimensională permite punerea în evidență a detaliilor, astfel încât să se poată urmări cu exactitate efectul acțiunii de restaurare și, în același timp, păstrarea pe timp nelimitat a unei însemnate cantități de informație referitoare la obiect, obținute în diferite faze ale procesului de restaurare. Datorită limitărilor de ordin teoretic și experimental - în special cele privind lungimea de coerență, puterea laserilor dispehibili, caracteristicile materialelor fotosensibile, cât și dificultățile de ordin tehnologic (stabilitate și caracteristici ale elementelor optice utilizate) -, în realizarea montajelor experimentale dimensiunile obiectelor la care se poate utiliza holografiera în momentul de față cu mijloace relativ modeste sînt limitate în așa fel încît volumul obiectelor să nu depășească  $1 \text{ dm}^3$ .

Pentru a putea evita expunerea unor obiecte cu o valoare deosebită aflate într-o stare de fragilitate avansată sau cărora nu li se pot asigura condiții optime de conservare în expoziții, obiecte la care este imposibilă realizarea replicilor, poate fi salutară expunerea imaginilor holografice ale acestora. În acest fel se pot atinge mai multe deziderate; realizarea unor expoziții cu caracter inedit, care ar asigura totodată o largă popularizare a unor obiecte care pot fi puse mai greu în valoare folosind alte modalități de expunere; posibilitatea prezentării unor obiecte sau exponate aflate în patrimoniul altor muzee din țară sau străinătate fără a fi necesară supunerea acestor obiecte riscurilor transportului și, nu în ultimul rînd, posibilitatea de a evita deteriorarea ireversibilă a unor obiecte care în mod normal la fotografiere sau filmare sînt supuse riscurilor aferente înninării cu radiații cu mare putere calorică sau de înaltă energie, deoarece se poate alege un domeniu spectral și o energie a sursei utilizate care să nu fie vătămătoare pentru obiectul respectiv.

Tot în această categorie de aplicații am putea include posibilitatea depistării unor falsuri în cazul în care există holograma obiectului original. Tehnica folosită în acest caz reprezintă o variantă a metodei de interferometrie holografică.

2.2. Aplicațiile interferometriei holografice. Un domeniu important al restaurării obiectelor din patrimoniul cultural național îl constituie investigarea acestora. Metodele fizice joacă un rol important în

procesul de investigație. În cadrul acestor metode considerăm că se poate aplica interferometria holografică, care prezintă avantajul de a fi total nedestructivă și, în același timp, pune în evidență detaliile obiectului investigat, permițând detectarea și localizarea acestora cu mai multă precizie decât prin analiza în rază X.

O primă metodă ar fi interferometria holografică în timp real. Metoda constă în înregistrarea hologramei obiectului, înregistrare considerată etalon. Holograma astfel obținută se rezonează în așa fel încât imaginea obținută la reconstrucție să coincidă cu imaginea obiectului iluminat și el de sursa laser. Se poate urmări astfel evoluția în timp a obiectului vizat, care este supus unor mici variații ale condițiilor fizice, variații ce vor duce la modificări ale dimensiunilor comparabile cu lungimea de undă a radiațiilor utilizate (ordinul de mărime  $10^{-7}$  m.)

O altă metodă ce poate fi folosită este cea a interferometriei holografice prin dublă expunere, care presupune o înregistrare a variațiilor suferite de un obiect între două expuneri consecutive pe aceeași placă fotografică. În acest caz nu mai este necesară o rezonezare exactă a hologramei după dezvoltare. După reconstrucția imaginii, una din holograme produce o imagine primară ce constituie unda de comparație, iar cea de a doua suprapune peste aceasta imaginea obiectului deformat. Astfel, se va produce un fenomen de interferență macroscopică ce va pune în evidență diferențele de drum optic apărute între expuneri, deci, implicit, și deformările obiectului, sub forma unor franje localizate pe imaginea tridimensională a obiectului.

Metodele prezentate contribuie la investigarea fizică a obiectelor, punând în evidență tensiunile interne existente înainte de restaurare sau eventual cele apărute în timpul restaurării, neomogenități ale materialelor transparente, incluziuni gazoase, fisuri sau alte defecte mecanice a căror existență este pusă în evidență mai greu sau de loc prin metodele clasice.

### 3. Considerații practice.

3.1. Surse coerente. Exigențele de coerență impuse atât de compararea interferometrică, cât și de înregistrarea holografică fac ca laserul să constituie o sursă de lumină indispensabilă în această tehnică. Cel mai frecvent utilizați laseri sînt cei cu Helium-Neon, Argon sau Cripton ionizat, rubin și sticlă dopată cu neodim a cărui radiație se dublează în frecvență, datorită puterilor destul de mari emise în structura monomod ( $TEM_{00}$ ) pe frecvențe optice adaptate cel mai bine la domeniul de sensibilitate maximă a materialelor foto existente. Acest lucru se poate observa și din următorul tabel care redă parametrii cei mai importanți ai acestor laseri:

Mediul activ	Lungimi de undă ( $\mu\text{m}$ )	Putere (mW)	Lungime de coerență (cm)	Regim de funcționare
He - Ne	0,6328	1-100	50-20	continuu
Ar ionizat	0,4880 0,5145	1000	10	continuu
Kr ionizat	0,5208 0,5682 0,6471	50 50 150	10	continuu
Rubin	0,6943	100 MW	1 cm-4 m	în impulsuri, puteri mari în regim declanșat
Sticlă dopată cu $\text{Nd}^{3+}$	1,06 dublat frecv. 0,53	100 MW	1 cm-3 m	- " -

Așa cum rezultă din tabel, lungimile de coerență sînt relativ modeste pentru scopul propus, dar acestea pot fi mărite atunci cînd se lucrează monomod și monolinie prin controlul frecvenței, chiar dacă aceste măsuri micșorează puterea, deoarece în majoritatea cazurilor aceasta rămîne suficient de mare pentru a realiza holograme cu timpi de expunere suficient de scurți.

O categorie aparte de laseri care ar putea duce la aplicații interesante în domeniul holografiei o constituie laserii cu coloranți (dye laser), care permit obținerea unui spectru larg de radiații vizibile, fiind acordabili. În acest fel se poate obține mărirea imaginilor holografice, știut fiind că mărirea imaginii depinde de raportul între lungimea de undă a radiației de referință și cea a radiației de reconstrucție.

**3.2. Montaje experimentale și materiale folosite.** Pentru obținerea unor holograme de bună calitate este necesară o stabilitate mecanică foarte bună, fiind permise în timpul expunerii doar deplasări mai mici decît  $\lambda/2$ . Acest deziderat se realizează cu ajutorul mesei holografice și a suportilor pentru componente optice, proiectați în așa fel încît să asigure o stabilitate perfectă a montajului în timpul expunerilor (0,1-5 sec.). În plus, se caută dispunerea mesei holografice în regiuni ale planșeelor care prezintă vibrații minime și efectuarea hologramei după terminarea activităților din clădirea respectivă, în condiții de trafic rutier scăzut, precum și eliminarea oricăror surse de unde acustice. Înregistrarea hologramei se face cu materiale fotosen-

sibile, care există în prezent în număr mare (emulsii fotografice, fotopolimeri, cristale electro-optice, detectori fotoelectrici, cristale lichide etc.), dar, deocamdată, filmul și placa fotografică rămân cele mai utilizate materiale, cu toate dificultățile ce există în asigurarea unor parametrii optimi ai acestor materiale fotosensibile. Emulsiile fotografice utilizate în holografia cu laseri He-Ne (cel mai des utilizați) și rubin sînt pancromatice sau sensibilizate special la roșu; alte caracteristici sînt rezoluția și contrastul foarte mare, care duc însă la o sensibilitate relativ scăzută. Cele mai utilizate în holografie sînt plăcile Kodak 649 F și Agfa 10 E 75, dar pot fi utilizate și alte tipuri, de exemplu cele produse de firma ORWO.

#### 4. Concluzii.

Tehnicile holografice discutate se pot folosi cu succes în activitatea de restaurare și chiar în cea de valorificare a patrimoniului cultural național, chiar dacă ele prezintă încă niște limite care se datoresc în special materialelor și aparaturii necesare. Specificăm însă că practic toată aparatura necesară se produce în țară. La IFTAR-București se realizează o gamă largă de laseri utilizabili în holografie. La același institut se produce și o masă holografică completă (cu echipamentul optic aferent), care prezintă caracteristici corespunzătoare obiectivelor propuse în lucrare.

#### BIBLIOGRAFIE

1. V. Vlad, Introducere în holografie, Edit. Academiei, București, 1973.
2. D. Gábor, Válogatott tanulmányok, Gondolat, Budapest, 1976.
3. E. Hegedűs, B. Bodó, De la desene simple la holografie, Edit. Facla, Timișoara, 1978.
4. M. Sobolev, Les lasers (réalisation et perspectives), MIR, Moscova, 1973.
5. Em. Vasiliu, Laserii, revoluție în electronică, București, 1974.

#### QUELEQUES PROPOSITIONS POUR UTILISER DES MÉTHODES HOLOGRAPHIQUES DANS LA RESTAURATION ET VALORISATION DU PATRIMOINE CULTUREL NATIONAL

#### Résumé

Le travail propose l'introduction dans notre pays des méthodes holographiques dans la restauration. Les méthodes proposées sont la

photo et l'interferrométrie holographique. On présente les domaines dans lesquels on peut utiliser ces méthodes: l'investigation physique, la mise en évidence des tensions internes, des nonhomogénéités et des inclusions, le comportement sous l'action des facteurs physiques qui interviennent pendant la restauration, la découverte des faux, la substitution des originaux par des images holographiques et l'échange d'hologrammes entre les musées. Enfin, on passe en revue les appareils et les matériaux qui peuvent être utilisés.

# COMUNICĂRI PE SECȚII

## SECȚIA I-a

RESTAURARE PICTURĂ, GRAFICĂ, DOCUMENT