

## AZ INFORMÁCIÓTÁROLÁS HOLOGRAFIKUS MÓDSZERE

Dékány Sándor

Felhívjuk olvasóink figyelmét arra, hogy - eddigi gyakorlatunktól eltérően - olyan cikk közlésére vállalkoztunk, amely a tájékoztatás-ügynek - egyelőre - csak a jövőjéhez tartozik és teljes megértése némi természettudományi alapismeretet is megkövetel. Ennek ellenére úgy véljük, hogy ha lépést akarunk tartani saját szakterületünk fejlődésével, szaktudásunk fejlesztése, szakmai tájékozottságunk érdekében nem zárkozhatunk el a holografikus adattárolás új és időszerű kérdéseinek megismerése elől.

### Áttekintés

A tudományok és ezen belül különösen a műszaki tudományok a legutóbbi évtizedekben bekövetkezett fejlődése és vele az információk tömeges megjelenése új helyzet elé állította az információk tárolására hivatott szerveket. A hagyományos módszerek már messze nem alkalmasak arra, hogy a tömegesen beérkező információkat: könyveket, közleményeket, rajzokat, térképeket stb. kis helyen, könnyen hozzáférhetően és bármikor gyorsan leihívhatóan tárolni tudják. Ennek a ténynek a felismerése késztetett már eddig is több államot a mikrofilmes tárolás kötelező elrendelésére. De a mikrofilmes megoldás különféle módszerei sem kielégítőek, hátrányai közismertek. Éppen ezért fordult a világ fizikusainak, kutatóinak és más szakembereinek érdeklődése a holográfia felé. Ez ugyanis minden eddigi hagyományos módszertől lényegében eltérő módon ígért és hozott új lehetőségeket a mérnöki, ipari és sok más alkalmazáson kívül az információtárolás tekintetében is. Képzeljünk el egy 30x30 cm-es fényképlemezt, ami 60 000 sűrűn nyomtatott oldalt tartalmaz. Vagy gondoljunk meg, hogy egy néhány köbméter térfogatú tárolóhely 6 millió kötetes könyvtár anyagát tartalmazza, bármikor hozzáférhetően. Bár nem alakult még ki egységes módszer az információk ily módon való tárolására és az még sehol sincs véglegesen bevezetve, a laboratóriumi kutatások már tulajutottak az alapproblémákon és több irányban értékes gyakorlati eredményeket értek el. Minden kockázat nélkül megjósolható, hogy a holo-

grafikus információátvitel egy-két kifejeződő módszere előbb-utóbb átveszi a tudományos és egyéb információk tárolásának szerepét is a hagyományos vagy részben korszerűsített módszerrel szemben.

Fentiek indokolják, hogy megismerje az olvasó e legkorszerűbb információátvitel elvi alapjait és működési elvét.

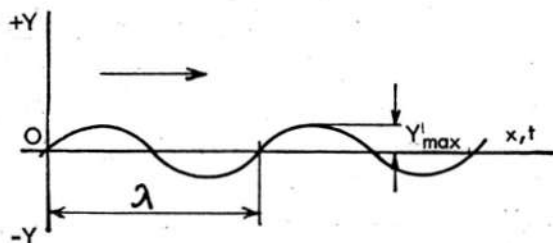
Az első hologramot GÁBOR Dénes, magyar származású angol professzor állította elő 1948-ban /2/. Ő nevezte el hologramnak a holos = minden és graphos = feljegyezni görög szavak összetételéből. Jelentőségét csak a laser feltalálásával ismerte fel LEITH és UPATHIEKS /4/ 1962-ben. A holográfia, mint arra GÁBOR rámutatott, az optika és ezen belül a fényinterferencia törvényeivel magyarázható.

### Fényinterferencia

A fény természetére vonatkozólag ma is változatlanul érvényben van a dualitás elve, amely szerint egyes fényjelenségeket a fény korpuszkuláris jellegével, másokat pedig - közöttük a fényinterferenciát, a fény hullámtermészetével magyarázzuk.

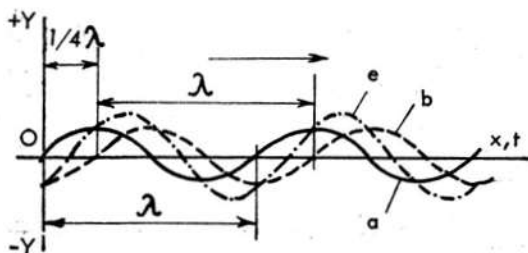
Két fénysugár találkozásakor akkor beszélünk interferenciáról, ha a találkozás eredményeként, pl. egy ernyőn esetleg gyengébb a megvilágítás, mint a találkozó /interferáló/ sugarak által külön-külön, ugyanott létesített megvilágítás.

A fény terjedését - egyszerű szinuszos hullámokat feltételezve - az 1. ábra szemlélteti. A hullám ezen balról jobbra terjed az  $x$  és egyben a  $t$  idő tengely mentén, miközben a tengelyre merőleges  $y$  irányu kilengéseket végez. Egy teljes  $\lambda$  hosszúságú hullám egy-egy pozitív, illetve negatív félhullámból áll. Ha a  $t_0$  időpontban az előbbivel azonos tulajdonságú másik hullám is elindul az  $x = 0$  pontból, vagy azon áthalad, akkor az eredőhullám legnagyobb kilengése /amplitúdója/ kétszerese lesz az összetevő hullámok amplitúdójának.



1. ÁBRA szinuszos hullám terjedése  
 $y_{\max}$  = amplitúdó

Ekkor a hullámok összeadódnak. Ha a második hullám az  $x = 0$  pontban már egy félhullámhossznyi távolságot megtett, akkor a két hullám kioltja egymást, mert ellenkező kilengési állapotban "fázisban" vannak. Ha pedig a két összetevő hullám egymáshoz képesti eltolódása  $0$  és  $\lambda/2$  közötti értékű, akkor az egyes  $x$  ponthoz tartozó új értékek előjel szerint összegeződnek. Egy  $\lambda/4$  eltolódásnyi összetevődést mutat a 2. ábra.



2.ÁBRA két hullám interferenciája  
 $\lambda/4$  fáziseltolódás esetén

2.ábra

származó fénysugarakat interferáltatunk egymással oly módon, hogy közöttük fáziskülönbség legyen. Ez azt jelenti, hogy az interferáló hullámok hullámhosszúsága és rezgésszáma is azonos, mert a hullámterjedés törvénye szerint:

$$c = v \cdot \lambda$$

ahol  $c$  = a fény terjedési sebessége konstans érték,  $v$  = a rezgésszám és  $\lambda$  = hullámhossz.

Nem a fény egyes részecskéi haladnak  $c$  sebességgel, hanem a rezgőmozgási állapot. Vagy a fényt mint elektromágneses rezgést felfogva, az elektromos térerősség terjed.

Az egy időpillanatban egyenlő fázisban lévő pontok egy felületet, un. hullámfelületet alkotnak. Ha a fénysugarak egy pontszerű fényforrásból indulnak ki, akkor ezek a felületek koncentrikus gömbfelületek. A pontból kiinduló hullámok gömbhullámok. Ha pedig a pontszerű fényforrás a végtelenben van, akkor a hullámfelületek párhuzamos síkok lesznek és síkhullámokról van szó.

A hologram keletkezésének megértéséhez tudni kell, hogy a fény különböző felületeken tükröződve a visszavert fény fázisugrásokat, fáziseltolódásokat szenvedhet a beeső hullámhoz képest. Így pl. sűrűbb közeg felületén történő tükröződéskor  $\lambda/2$  fázisugrás lép fel. Vékony rétegbe ütközéskor a fénynyaláb két részre bomlik; az egyik a külső felületen tükröződik, míg a másik rész a réteg hátsó felületéről verődik vissza, majd a belépő oldalon kilépve az előbbi résszel interferál, erősíti vagy gyengíti, sőt kiolthatja azt.

Ez a néhány példa is érzékelteti, hogy a fény különböző tárgyfelületekről visszaverődve milyen intenzitásbeli és bázisbeli változásokon mehet keresztül. A frekvencia azonban változatlan marad. Ezeket a jelenségeket használja a holográfia.

Két hullámnak a leírtak szerinti összetevődését interferenciának nevezik. Amíg azonban a hanghullámok vagy a folyadékfelszín hullámok interferenciája könnyen megfigyelhető, addig a fényhullámok interferenciája csak szigorú megkötöttségek teljesülése esetén válik láthatóvá, illetve megfigyelhetővé. A megkötöttségek - koherenciafeltételek - egyike szerint az interferáló két hullámnak állandó fáziskülönbségűnek kell lenni. Kb. 1960-ig azt tanította a fizika, hogy ez, valamint a többi koherenciafeltétel is ugy biztosítható, hogy ugyanabból a fényforrásból

A valóságban egyetlen fénysugarat nem lehet előállítani, csak sugárnyalábot. Ha pedig fénynyalábokkal kívánunk interferenciát előállítani, akkor szükséges, hogy a fénynyalábok koherensek legyenek.

Mint már említettem, a fizika egészen az 1960-as évekig azt tanította, hogy ilyen koherens nyalábok csak akkor keletkezhetnek, ha azok sugarai ugyanannak a fényforrásnak ugyanazon pontjából, ugyanabban a pillanatban indulnak ki. Az ilyen fényforrások tehát pontszerűek és így kicsi a fényerejük. Ez a magyarázata annak, hogy a már 1948-ban feltalált hologram gyakorlati alkalmazására, csak 12-13 év múlva a laser feltalálása után kerülhetett sor.

A laser mint fényforrás

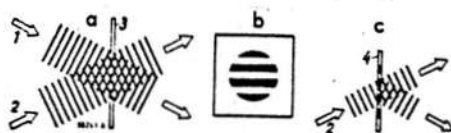
A laserek elméletével, a laserhatás problémájával itt nem lehet foglalkozni. A lényeg az, hogy a laserek új, nagy teljesítményű, nagy intenzitású koherens fényforrások, amelyek a fényt síkhullámok formájában sugarazzák ki. Legtöbbjük a láthatatlan infravörös hullámterományban sugároz, de holográfiás fényforrásként elsősorban a látható fényt kibocsátó laserek jönnek tekintetbe, mivel kezelésük, beállításuk sokkal egyszerűbb. A feltalálás óta számos típust állítottak elő. Ezeket a gerjesztett állapotban fényt kibocsátó ún. aktív médiumuk szerint osztályozzák. Így lehet beszélni rubin, üveg, festék laserről, kémiai és gázlaserekről stb. Osztályozhatók továbbá aszerint, hogy a fényüket folyamatosan vagy szakaszosan, impulzuslaserként sugározzák. Holográfianoz, ha rövid ideig tartó nagy intenzitású fényre van szükség, akkor rubinlasert használunk. Ez impulzuslaserként a  $\lambda = 694,3$  nm-es hullámhosszon, látható fényt sugároz. Leggyakrabban azonban a He-Ne gázlasert használják, ami folyamatosan sugároz a  $\lambda = 632,8$  nm-es, ugyancsak látható hullámhosszon. Összehasonlításként meg kell jegyezni, hogy míg az előbbinek a nyalábátmérője 12 ... 20 mm és az eddig elért legnagyobb teljesítménye 20 mW körüli, addig a He-Ne laser nyalábátmérője 1,5 ... 2 mm és a vele eddig elért maximális teljesítmény 40 mW.

A hologram előállítás elve

A legegyszerűbb hologram két síkhullám interferenciája révén állítható elő a 3/a ábra szerint. Az 1 és 2 síkhullámok a 3 fényérzékeny lemez síkjában metszik egymást, a kapott interferenciaképet a 3/b ábra a hologram. Ennek rekonstrukciója úgy történik, hogy az 1-es nyalábot elveszük és a 4-es hologramot a 2 nyalábbal átvilágítjuk a 3/c ábra/. Ekkor a tüloldalon az 1-es hullám eredeti irányában visszatekintő néző nem a csikrendszert, hanem a fénynyalábot látja szembevilágítani.

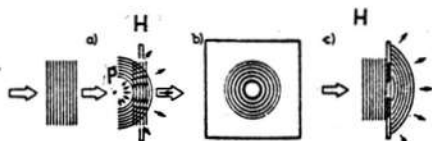
Egy pont hologramjának előállítása egy síkhullámmal és egy gömb-

hullámmal. A P pont egy monokromatikus fényforrás, amiből gömbhullámok indulnak ki a 4. ábra szerint. Ugyanakkor a P ponton át egy síkhullám is halad a H fényképezőlemez felé. A kétféle hullám a lemezen interferál. A kapott interferenciakép az 5. ábra szerinti koncentrikus gyűrűket mutatja, ami a fizikában Fresnel-féle zónalemez néven régóta ismert /3/. A rekonstrukció tekintetében "elvben" itt is az történik, mint az előbbi esetben: ha a két interferáló nyaláb egyikével világítjuk át a hologramot, akkor a tuloldalon a másik nyalábbal lesz látható. Konkrétan, ha a zónalemezt a vízintes irányú síkhullámmal világítjuk át, akkor a tuloldalon a széttartó gömbhullámok jelennek meg. A zónalemez úgy viselkedik, mint egy homorú lencse. A tuloldalon elhelyezkedő nem az interferenciagyűrűket látja, hanem a széttartó gömbhullámok centrumát a belépő oldalon, mint a P pont virtuális képét, a 6. ábra szerint.

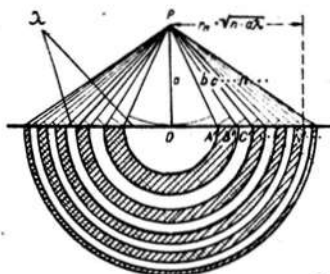


3.ÁBRA Hologram előállítása két síkhullám interferenciájával

- a/ 1 és 2 - síkhullámok, 3 - hologramlemez
- b/ a hologram
- c/ rekonstrukció

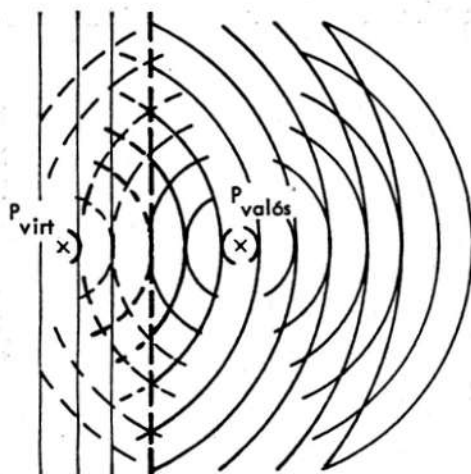


4.ÁBRA egy pont hologramjának előállítása egy gömbhullám és egy síkhullám segítségével  
P - fényforráspont, H - hologramlemez



5.ÁBRA Fresnel-féle zónalemez

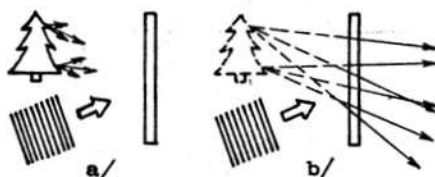
- a/ a 4. ábra szerint készült hologram:
- b/ a gyűrűk elhelyezkedésének és szélességének magyarázata



6. ÁBRA P pont rekonstrukciója a zónalemezről egy síkhullámmal

Hologramkészítés tetszés szerinti tárgyról. Az előbbi elv alkalmazható konkrét tárgy hologramjának előállítására is. Erre a legegyszerűbb eset elvi vázlatát a 7/a ábra mutatja.

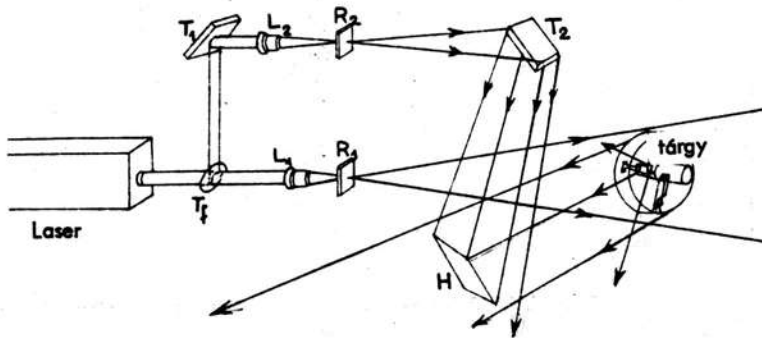
A fenyőfának vázolt tárgyat ugyanolyan síkhullámmal világítjuk meg, mint amilyen a fa alatt be van rajzolva. Ekkor az utóbbi sík hullámok, az un. referenciahullámok, valamint a tárgyról visszatükröződő un. tárgyhullámok a hologramlemezen találkoznak és ott interferálnak. A rekonstrukció a 7/b ábra szerint történik. A síkhullámmal átvilágított hologramon a tulajdonképpen elhelyezkedő személy nem interferenciagyűrűket lát, hanem a tárgy virtuális képét, mégpedig ott, ahol az a felvételkor éppen volt.



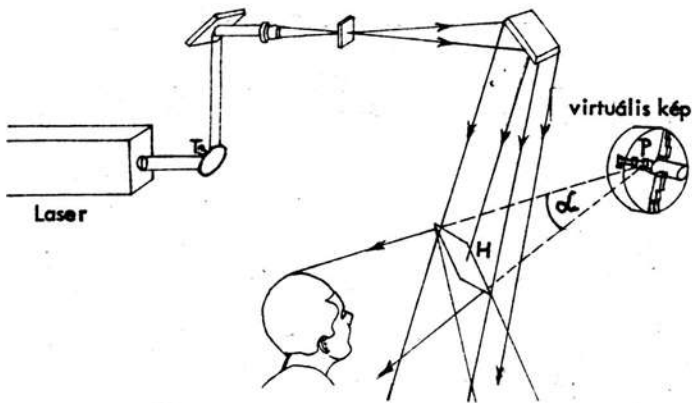
7. ÁBRA hologramfelvétel és rekonstrukció egy tárgyról Kulcke vázlatá szerint

A hologram felvétele és rekonstrukciója a gyakorlatban. Az előbbinél kissé bonyolultabban történik. Egy példa a 8/a illetve 8/b ábrán látható. A laserből vízszintesen kilépő sugárnyaláb egy 45°-ban

elhelyezett  $T_1$  részben áteresztő tükörbe ütközik és ott két részre bomlik. A nagyobb százaléka egyenesen halad tovább az  $L_1$  mikroszkóp-



8/a



8/b

8. ÁBRA példa a gyakorlati megoldásra:  
a/felvételi elrendezés, b/a rekonstrukció vázlat

8/b ábra



objektívig, ami azt összegyűjti a gyújtósíkjában, ahol az  $R_1$  térszűrő van elhelyezve. Ezen áthaladva a fénynyaláb kuposan kiszélesedik, hogy egyenletesen megvilágítsa a tárgyat, ami a lasernyaláb átmérőjénél így sokszorosan nagyobb lehet. Ezek a tárgyát megvilágító, majd arról visszaverődő sugarak a tárgy hullámok.

A  $T_1$  tükrön derékszögben felfelé megtörő nyaláb először a  $T_1$  felett, vele párhuzamosan elhelyezett teljesen visszaverő siktükröbe ütközik és arról visszaverődve ismét vízszintes irányú lesz. Ezt a nyalábot az előbbihez hasonlóan az  $L_2$  mikroszkópjelző a gyújtósíkjában gyűjti össze, ahol az  $R_2$  térszűrő látható. A kuposan szétterjedő sugarak ezután a  $T_2$  teljesen visszaverő tükrökre kerülnek, majd arról visszaverődve a H fényérzékeny lemezt világítják meg. Ezek a hullámok alkotják a referenciahullámot.

A tárgyat a fent leírtak szerint megvilágító tárgy hullámok a tárgy alakjának, sajátosságának megfelelően többé-kevésbé minden irányban visszaverődnek a megvilágított felületről. Így tehát mind a tárgy hullámok, mind a referencia hullámok egyidejűleg rákerülnek a hologramlemezre és azon interferálnak. Mivel a tárgy felület különböző részeiről visszaverődő sugarak más és más utkülönbséggel érkeznek a hologram lemezre, ezért a rajta kialakuló interferencia-csíkok nem lesznek olyan szabályosak, mint a 3. illetve 4. ábrán láthatók, hanem a legkülönfélébb, ujjlenyomathoz hasonló ákom-bákom csikrendszerre alkotnak. Ez a csikrendszer, illetve a fényérzékeny lemezre rögzített képe, a hologram. A felvételhez azért van szükség az objektívek, hogy összegyűjtsék a nyalábot a térszűrő alkalmazásához, másrészt, hogy kiterjessék a nyalábot nagyobb méretű tárgy, illetve hologramlemez alkalmazásához. A térszűrő egy kis átmérőjű kör alakú nyílás, melynek feladata a zavaró fények "zajok" kiszűrése. Mindebből látható, hogy a hologramkészítésnek "lencse nélküli fényképezés" elnevezése /7/ nem egészen helytálló. A fénymegosztást a  $T_1$  tükrövel úgy kell szabályozni, hogy a tárgysugarak és referenciasugarak intenzitása a fényérzékeny lemezen kb. egyforma legyen.

A rekonstrukció vázlatát a 8/b ábrán látható. Lényegében ugyanaz az elrendezés, mint felvételnél, de a tárgy hullám elmarad. A hologram mögött az ábra szerint elhelyezkedő néző nem az interferenciaképet látja, hanem a tárgy virtuális, háromdimenziós képét a térben ott, ahol a felvételnél volt. Az ilyen virtuális kép nézésének megvan az a nagy előnye is, hogy ha a néző a fejét jobbra-balra mozgatja, akkor a tárgynak éppúgy látja a bal- illetve jobb oldalt, mintha a valóságban lenne ott. Több, egymás melletti helyről pedig sztereoképek készíthetők.

Fotoanyagok a hologramkészítéshez

A holográfia feltalálásáig általános felfogás volt, hogy a jóminőségű objektív feloldóképessége

lényegesen meghaladja az emulzióét. Egy másolóobjektív feloldására MOTTIER 500 vonal/mm-t adott meg, ami ötszöröse a szokásosan használt



emulzióéna. A hologram azonban nem fénykép, hanem interferenciakép, aminek vonalfrekvenciája a fény hullámhosszának nagyságrendje körüli érték. Adott esetben az interferenciacsíkok egymásközi távolsága a tárgy hullám és referenciahullám beesési szögéből számítható  $1/\lambda$ . Ennek kihasználása érdekében egyszerre nagy felbontású emulzióra lett szükség. Az Agfa gyár így 3000 vonal/mm-nél nagyobb felbontású emulziót is piacra hozott. De már az ORWO cég is Spezial Platte LP2 elnevezéssel 2500 vonal/mm-es lemezeket gyártott 1971-ben.

**A holográfia előnyei  
a fényképezéssel szemben**

a/ Legjellemzőbb különbség az, hogy a hologram egy részből, feléből, vagy csak egyetlen darabjából is az egész kép rekonstruálható. Ennek az a magyarázata, hogy a tárgy-hullámok a tárgy megvilágított ré-

szének minden pontjából visszaverődnek a hologramlemez minden pontjára. A referenciasugarak ugyancsak megvilágítják az egész hologramlemez, tehát így a tárgy minden pontjáról interferenciakép keletkezhet a hologramlemez minden pontján. A csonkított kép információ tartalma természetesen a felületvesztés arányában kevesebb lesz.

Ennek a tulajdonságnak az a nagy előnye, hogy az eredeti hologramot ért karcok, sérülések, porszemek egyáltalán nem befolyásolják a rekonstrukciót. Nincs tehát elveszett szövegrész vagy rajz-részlet.

b/ A hologram nemcsak a hullám amplitudóját, hanem a hullám fázisát is rögzíti. A rekonstrukció alkalmával ezért alakul ki a háromdimenziós kép és nagyobb lesz az információ tartalma.

c/ A hologram méretei kötetlenek. A leggyakoribb lemez méret 10x10 és 9x12 cm, de szokásos már a 30x30 cm-es méret is.

d/ A hologram feloldása lényegesen nagyobb, így az előbbi pontot is figyelembe véve, kis helyen nagy mennyiségű információ tárolására alkalmas.

e/ Míg a mélységélesség a fényképezést erősen korlátozza, addig a hologram mélységélessége elvileg korlátlan. A tárgy hullámok a távolságuktól függetlenül interferálnak a referenciahullámokkal. Ez műszaki felvételeknél különös jelentőségű.

f/ Egyetlen hologramlemezre két vagy több interferenciaképet lehet felvenni szabályos vagy szabálytalan időközökben, elforgatással vagy másképpen. Ez pl. parányi elmozdulások, alakváltozások megállapítását, több információ tárolását teszi lehetővé.

g/ A képalkotásban elvileg lencserendszer nem vesz részt, így nincsenek képábrázolási hibák, perspektivikus torzítások, ami a kvantitatív kiértékelésben rendkívüli előny.

A holográfia hátrányaként emlithetők:

- laser fényforrást igényel;
- rezgésmentes elhelyezés szükséges, mert az expozíció alatti elmozdulásokra rendkívül érzékeny;
- nem portábilis és
- igen költséges berendezést igényel.

A fentieknek megfelelően a holográfiát ott kell alkalmazni, ahol más módszer nem alkalmazható, vagy ahol így is gazdaságos. A szakirodalom már sokszáz irányu gyakorlati alkalmazásáról számol be, mint pl. automatikus minőségellenőrzés a tömeggyártásban stb.

A továbbiakban az alkalmazási lehetőségek közül az adattárolást vizsgáljuk.

A holográfiás  
információtárolás

a/ Tárolás hagyományos fényképező  
módszerrel

A hagyományos optikai tárolásnak megvannak az említett hátrányai: csak intenzitásokat rögzít, az optikai átvitel hibákkal jár, elhajlások, képhibák a felvételnél, mellékhatások, szórások az emulzió, hibák a leolvasó szerkezeten stb. Ennek ellenére is előnyös a híradástechnikai átvittel összehasonlítva. Ez utóbbi ugyanis a pontokat időben egymás után dolgozza fel, míg az optikai rögzítés egyszerre történik. Az optikai tárolás előnye a nagy tárolási sűrűség. Egy 10x10cm-es lemezen elméletileg  $10^{10}$  bit tárolható, amihez mágneses tárolással több kilométer hosszú szalagra volna szükség /5/.

Hátránya még a hagyományos optikai /pl. mikrofilmes/ tárolásnak, hogy

- helyi sérülésekre, karcolásokra stb. igen érzékeny;
- a vezérlőfényt nagyon pontosan kell irányítani, hogy a széleken kiesések ne legyenek és hogy
- az egyes adatblokkok /képzők/ felvitele a fogadómátrixra nehéz probléma.

Ezért keresnek a kutatók a holográfia felhasználásával olyan optikai tároló-eljárást, amelynél az előnyök megmaradnak az említett hátrányok nélkül.

b/ Holográfiás tárolás

A háromdimenziós rögzítésnek ez esetben nincs jelentősége, de fennmarad a kétdimenziós világos-sötét nagy mennyiségű adattárolás előnye, igen kis térben. Egy H hologram tárolókapacitása:

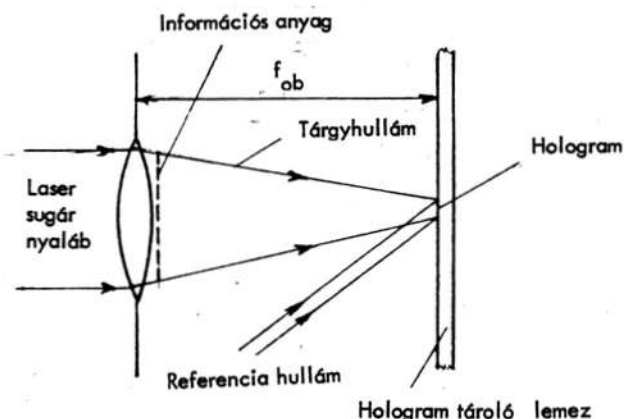
$$f_g^2 \cdot H^2$$

ahol  $f_g$  = a fotoanyag feloldóképessége és  $H^2$  a hologram mértani felülete. A korszerű speciális fotoanyag feloldóképességével számolva  $10^8 \text{ bit/cm}^2$  tárolósűrűség adódik.

A részhologramból az egész kép rekonstruálási lehetősége egyben azt is jelenti, hogy a referenciányaláb irányítása nem olyan kritikus, mint a hagyományos fénykép esetén.

Minden holográfiás tároláshoz el kell készíteni a hologram tároló lemezt. Ez többnyire  $10 \times 10 \text{ cm}$ -es, vagy annál nagyobb méretű különlegesen jó feloldású speciális emulzióval bevont üveg, vagy más átlátszó lemez. Erre sakktáblaszerűen fényképezik rá a tárolni kívánt tárgyak kicsinyített hologramjait. A lemezt csak akkor hívják elő és fixálják, amikor már minden kívánt hologram rákerült.

Az ilyen felvétel elvi rajzát TAKEDA /8/ vázolata alapján a 9.ábra szemlélteti.



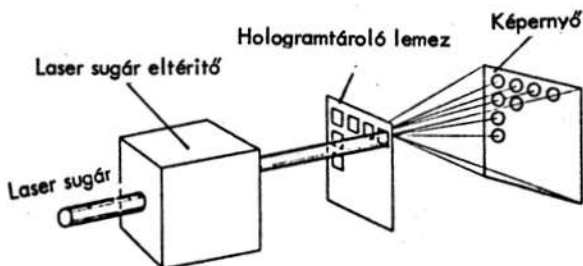
9.ÁBRA Hologramfelvétel a tárolólemeze  $f_{ob}$  az objektív gyújtótávolsága

Egy optikailag kiszélesített párhuzamos lasernyaláb nagyméretű gyűjtőlencsébe ütközik. Az összetartón kilépő fénykup áthalad a közvetlenül a lencse előtt elhelyezett információs anyagon: könyvoldalak, rajzok stb. negatív képén. Az átjutó fények, mint tárgy hullámok a lencse gyűjtősíkjában az oldalról quairányított referenciahullámokkal a tárolólemez emulziós felületén interferálnak. Ezen ekkor az információs anyag kicsinyített hologramja jön létre.

Gyakorlati példák

a/ Langdon-féle információtárolási rendszer

Az alábbi elv alapján működő holografikus információs adattároló berendezés kivitelezésével és további fejlesztésével jelenleg több helyen foglalkoznak. A LANGDON szerinti /7/ megoldás működési vázlatát a 10. ábrán látható.



10. ÁBRA Holografikus információtároló berendezés vázlatát Langdon szerinti

Egy 10x10 cm-es üveglemezre 10 000 db hologram van feljegyezve. Minden egyes hologram 1000 bit-et tartalmaz. Az elektronikusan vezérelt sugárirányító, pl. egy akusto-optikai modulátor a referenciasugárnyalábát a kívánt hologramra irányítja, és a tárolt valós képet egy 10 000 db fotodetektort tartalmazó rácstra vetíti. A tárolólemez egy hologramjának kivetítéséig tartó idő, a lehívási vagy hozzáférési idő  $10^{-6}$  s. A rács /Testraster/ szavankint 100 bit-et tartalmazó 100

szóbból álló szöveget tud előállítani. A kiolvasó sugár átmérője csupán 0,6 mm, mégis elegendő ahhoz, hogy az egyes bit-ek érzékelhetők legyenek. A kísérletek szerint viszont a 0,3 mm átmérőjű sugár már igen "zajos" alig kiértékelhető képet eredményez.

Amennyiben a hologramot nagyobb méretűre vetítik, mint amekkora a rekonstrukcióhoz szükséges, akkor a redundancia mértéke növekszik. Ezáltal a hologram a kisebb hibákkal szemben relatív érzéketlen. Az említett példa szerinti kivitel tárolókapacitása 1 1/2 nagyságrenddel kisebb az elméletileg számított értéknél. Ez elsősorban a fényképészeti emulzió "zaja" miatt van így. Jobb fotoanyag előállításával ezt a különbséget idővel még csökkenteni lehet.

A holografikus információátvitel e rendszerének kimagasló előnyeit - a nagy kapacitást, redundanciát és a rövid "lelivási időt" - ma még erős hátrányokkal kell szembeállítani. Azáltal ugyanis, hogy minden egyes bit az egész hologramra elosztva van feljegyezve és így ugyanazon oldálnak egy másik bit-jétől térbelileg el nem választható, azáltal az egyes bit-eknek vagy szavaknak az utólagos megváltoztatása lehetetlen. Tehát minden változtatáshoz új hologramot kell készíteni. Azonkívül, mivel az ezüsthalogén emulziót az előhívás és fixálás után újra érzékenyíteni gyakorlatilag lehetetlen, emiatt nemcsak a javítandó egyetlen hologramot kell megváltoztatni, hanem az összes többi is, amelyek ugyanazon a tárolólemezen voltak rögzítve.

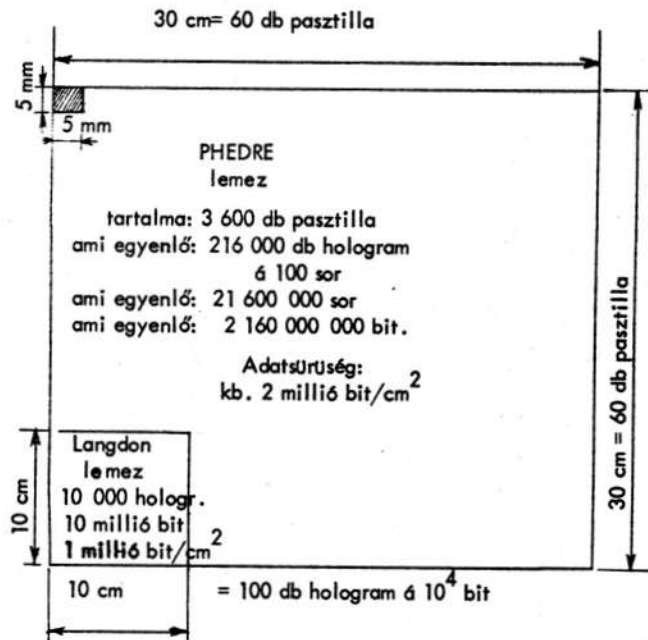
#### b/ A PHEDRE-féle módszer

A címben foglalt szó a "Procédé Holographique d'Enregistrement de Données Restituées Électroniquement" elnevezés kezdőbetűiből adódik. Magyarul: Eljárás holografikusan feljegyzett adatok elektronikus visszaállítására. A tervet a CNET: Centre National d'Etudes des Telecommunications dolgozta ki Párizsban /6/. A tervezők abból az elgondolásból indultak ki, hogy az elektronikus tárológépek, memóriák, már rendkívül nagy adathalmazt is kis helyen tudnak ugyan tárolni, de nem alkalmasak a részletdus ábrák, aláírások tárolására. Egyre növekszik az igény olyan adattároló berendezésre, ami a betárolt rajzot, szöveget, minden kódolás, illetve fordítás nélkül, a lelivásra gyorsan vissza tudja adni.

Az információs adatok rávitele a hologram tároló lemezre lényegében ugyanaz, mint az előbbi esetben. A különbség csak az, hogy a tároló fényérzékeny lemez mérete ez esetben 30x30 cm. A 11. ábrán összehasonlításként látható a kétféle lemez, a rávitható bit-ek feltüntetésével.

A PHEDRE-féle lelivóberendezés vázlata a 12. ábrán látható. A hologramtároló lemez keretbe foglalva egy kocsiiban vízszintesen van elhelyezve. A keret x irányban görgőkön mozgatható, míg y irányú mozgása a kocsiival együtt történik. Amikor a kívánt hologram közepe a vevőberendezés optikai tengelyébe érkezik, akkor a vezérlő asztalról, a prizma-beállító szerkezet forgatásával elmozgatják /a lehetséges 60 helyzet közül/ abba a helyzetbe, amelyikkel a lasersugár hajlásszöge éppen megfelelő. A kívánt kép a videó-berendezés képernyőjén jelenik meg, amit közvetlenül lehet olvasni.

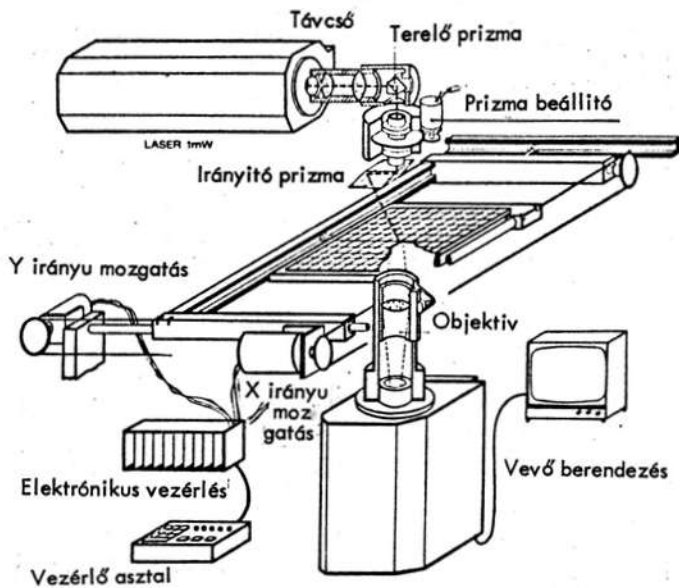
1 pasztilla = 60 db hologram



11. ÁBRA

A lehívás ideje a dokumentumok számának a függvénye. Ha pl. száz-ezer oldalt tárol a rendszer, akkor a lehívási idő 1 másodperc. Ha pedig a tárolandó mennyiség meghaladja a millió oldalszámot, akkor a lehívási idő 10 másodpercre nő.

Az itt ismertetett holografikus információátvitel rendszerek a lenlegi állapotukban, a már említett okok miatt csak akkor használhatók gazdaságosan, ha nagy mennyiségű nem változó adatokat kell tárolni. Ilyenek elsősorban a könyvtárak és a különféle archívumok. De vannak már olyan kisebb berendezések is, amelyek kisebb hologramokat készítenek személyazonossági igazolványokról, csekk-aláírásokról, hitellevelekről stb., mert az ilyen dokumentumok meghamisítása csaknem lehetetlen.



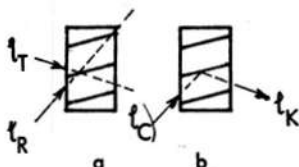
12.ÁBRA A PHEDRE-féle információ levivő berendezés vázlata

**További lehetőségek**

A tárgyalt fényképeszeti és holografikus adattároló rendszereknek közös jellemzője, hogy a fényképező médium, a hologramtároló lemez emulziója lényegében kétdimenziós. Kérdés, milyen új lehetőséget jelentene, ha a hologramtároló médium háromdimenziós lenne, azaz fényérzékeny rétege vastagabb, a fény hullámhosszának legalább 30-szorosa lenne, vagyis  $d > 30\lambda$ . Ez a hagyományos fényképeszeti módszer esetében hátrányos volna, illetve az egész eljárás kérdésessé válnék a szóródások, képélességromlás stb. miatt.

Egészen más a helyzet a holografikus fényképezés esetén /5/. A tárgy hullámok és referenciahullámok által létesített interferencia-mező viszonylag nagy mélységtartományban létrejön. Egy kis fényelnyelésű tárolóközeg nem akadályozza meg, hogy benne a feketedési felületek mélységi eloszlásban kialakuljanak. A feketedési felületek a tárgy- és a referenciasugár szögfelezőjében jönnek létre és megfelelnek a modulált tárgy hullám amplitudó és fáziseloszlásának. A rekonstrukció a Bragg-féle /3/ reflexióeffektus értelmében végezhető el. A felvétel vázlata a 13/a ábrán, a rekonstrukció a 13/b ábrán





13. ÁBRA Többszörös hologramfelvétel egyetlen közegben Bragg-féle tükrözéssel

a/ felvétel  
b/ rekonstrukció

$l_T$  tárgy hullám       $l_R$  referenciahullám

$l_C$  kódsugár       $l_K$  képsugár

látható. Minden feketedési felület úgy viselkedik, mint egy gyengén visszaverő tükör és a rekonstruáló hullám csak akkor lép föl, ha minden tükröződő rész hullám fázishelyesen érkezik.

Az ily módon kialakítható feketedési felületek egymás közti  $s$  távolsága

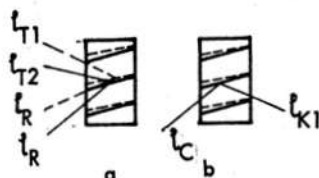
$$s = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{Q_R - Q_T}{2}}$$

ahol  $\lambda$  = hullámhossz,  $Q_R$  = a referenciahullám és  $Q_T$  a tárgy hullám beesési szöge.

Többszörös feketedési síkot lehet ugyanabban a közegben előállítani szögmódolással is. Ennek vázlatát a 14. ábra mutatja.

Az  $l_R$  referenciahullám beesési szögeinek megfelelő változtatásával egymástól kis távolságra is egymással hegyes szöget bezáró feketedési síkokat lehet előállítani.

Végül többszörös felvételi síkokat lehet előállítani a hullámhosszak megváltoztatásával is. Ezt a 15. ábra szemlélteti. Az ábrán szaggatottan rajzolt vonalak rövidebb hullámhosszakkal létrehozott feketedési síkokat jelölnék.



14. ÁBRA Többszörös hologramfelvétel egyetlen közegben a tárgy hullámok és referenciahullámok beesési szögének változtatásával

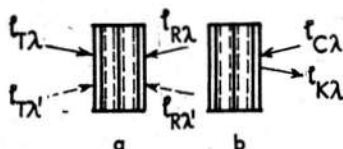
a/ felvétel  
b/ rekonstrukció

$l_{T1}$  és  $l_{T2}$  tárgy hullámok       $l_C$  kódhullám

$l_{K1}$  képhullám

Az ilyen többrétegű holografikus információtároló rendszerek rutinszerű alkalmazásáról még nincs tudomásunk. A laboratóriumi kutatás azonban már több helyen is folyamatban van. Egyes beszámolók szerint egy fénykép képinformációtartalmának már eddig is a 20-szorosát, sőt a legújabb információk szerint a 60-szorosát érték el.

Mindebből az következik, hogy a holográfiás információtárolás perspektivikus fejlődése szinte elképzelhetetlen eredményeket ígér.



15.ÁBRA Többszörös hologramfelvétel egyetlen közegben hullámhossz-kódolással

a/ felvétel  
b/ felvétel kiértékelése

$T_\lambda$  és  $T_{\lambda'}$  különböző hosszúságú hullámok  
 $R_\lambda$  és  $R_{\lambda'}$  referenciahullámok  
 $C_\lambda$  kódhullám  $K_\lambda$  képhullám

#### I R O D A L O M

- /1/ DÉKÁNY S.: Új lehetőségek a háromdimenziós filmezésben holográfiával. = Kép- és Hangtechnika, 17.k. 4.sz. 1971. 103-108.p.
- /2/ GÁBOR, D.: A new microscopic principle. = Nature /London/, 161.k. 4098.sz. 1948. 777-778.p.
- /3/ GRIMSEHL: Lehrbuch der Physik. 3.B. Optik. Leipzig, Teubner Verl. 1955.
- /4/ LEITH, E.N. - UPATNIEKS, J.: Reconstructed wavefronts and communication theory. = Journal of Optical Society of America, 52.k. 10.sz. 1962. 1123-1130.p.
- /5/ LENK, H.: Optische und optisch-holographische Speicherung. = Bild und Ton, 23.k. 8.sz. 1970. 243-249.p.
- /6/ Le Projet PHEDRE. = Les Informations Scientifiques Françaises, 1971. 1382.sz. nov.8. 88-89.p.
- /7/ MOTTIER, F.M.: Speichern, Messen und Rechnen mit der Holographie. = Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, 63.k. 4.sz. 1972. 185-191.p.
- /8/ TAKEDA, Y.: Hologram memory with high quality and high information storage density-hologram memory. = Japanese Journal of Applied Physics. 11.k. 5.sz. 1972. 656-665.p.

DÉKÁNY, S.: Holographic method for information storage

Parallel with the rapid development of technical sciences in the last decades the quantity of scientific literature and other related information has also rapidly increased. In small places it is already impossible the storage of these items with conventional methods so to ensure their quick and constant availability. The most up-to-date electronic devices may solve these problems but not for all types of information. The storage of books with fine-structured illustrations, written documents, maps, signatures etc. meets many difficulties in such memories. Scientists are investigating therefore new ways of solution. Microphotography could be successfully adopted for the storage of such items of information but its disadvantages - e.g. sensibility for scratching, soiling, etc. - make this possibility inconvenient. This is why nowadays the holographic information storage has come into prominence combined with electronic control. Advantages: very large storage capacity, small place requirement, availability of information items in seconds, insensibility for damages. Projects and experimental devices are described together with essential characteristics and practical production of holography. Advantages and disadvantages in comparison with other methods are analyzed. Principles of storage are reviewed and examples for practical application are given.

ДЕКАНЬ, Ш.: Голографический метод хранения информации

Пропорционально произошедшему за последние десятилетия стремительному развитию технических наук, также стремительно возросло и количество научно-технической литературы и прочей информации. Стало невозможным хранение информации традиционными способами на малых площадях и таким образом, чтобы в любое время иметь быстрый доступ к нужным материалам. Наиболее современные электронные устройства решают эту задачу, однако, не для любого типа информации. Книги содержащие мелкие иллюстрации, письменные документы, картографические материалы, рукописи, подписи затруднительны для хранения в электронной памяти. Микрофильмирование, правда, позволяет хранить упомянутые документы, но недостатком является напр. чувствительность носителя к царапинам, загрязнениям и пр.; ввиду чего это решение вопроса не вполне удовлетворительно. По этим причинам за последнее время на передний план выдвинулся комбинированный голографический метод хранения информации с электронным управлением. Это дает возможность хранить информацию в хорошо доступном виде с малым расходом места. Изготовлено несколько проектов и проведен целый ряд экспериментов по осуществлению этого замысла. Обо всем этом говорится в статье. Дается также изложение основ голографии и ее практические аспекты. Анализируются ее преимущества и недостатки по сравнению с другими методами. Излагается принцип хранения и примеры его практического решения.

DÉKÁNY, S.: Holographische Methode der Informationsspeicherung

Die in den letzten Jahrzehnten eingetretene rasche Entwicklung der technischen Wissenschaften brachte auch eine stürmische Zunahme der Zahl der Publikationen und der verschiedensten einschlägigen Informationen mit sich. Diese an einem kleinen Platz zu speichern ist heute mit den traditionellen Methoden nicht mehr in einer solchen Art durchführbar, dass diese zu jedem beliebigen Zeitpunkt rasch greifbar und benützbar wären. Obwohl die modernsten elektrischen Speicher diese Aufgaben lösen, sind sie nicht für alle Arten von Informationen gleichermaßen geeignet. Bücher mit feingezeichneten Abbildungen, Dokumente, Landkarten, Manuskripte, Unterschriften usw. sind in den elektrischen Speichern nur mit Schwierigkeiten zu unterbringen. Die Fachleute forschen nach neuen Methoden. Mikrofilme eignen sich zwar zur Speicherung der aufgezählten Informationstypen, aber sie sind zu ihrem Nachteil sehr kratz- und schmutzempfindlich. Demzufolge trat neuestens die mit elektrischer Steuerung verbundene holographische Informationsspeicherung in den Vordergrund, welche die Speicherung einer grossen Informationsmenge auf einem kleinen Platz und gegen Verletzungen unempfindlich ermöglicht, wobei diese leicht und rasch zugänglich und innerhalb von Sekunden abberufbar ist. Es sind bereits zahlreiche Entwürfe und auch einige experimentelle Vorrichtungen geschaffen worden, über welche berichtet wird. Hiezu wird das Wesen der Holographie und ihre praktische Herstellung erörtert und auch ihre Vor- und Nachteile anderer Systemen gegenüber werden beschrieben. Das Prinzip der holographischen Speicherung ist dargestellt und Beispiele ihrer praktischen Verwirklichung sind angeführt.

