

Válasz Szatmári Sándornak

“ Az adatbiztonság és az adatsűrűség növelésének lehetőségei holografikus adattároló rendszerekben”

című MTA doktori értekezésem bírálatára

Köszönöm Szatmári Sándor professzor úrnak értekezésem alapos átolvasását, valamint a dolgozatot és a téziseket érintő konstruktív bírálatát. A bírálatban feltett kérdéseire, megjegyzéseire (amelyekre itt dőlt betűkkel utalok) a következőket válaszolom:

A szerző nem foglalkozott az ábrákon szereplő szöveg egységes magyarra fordításával; az ábrák egy része magyar másik része angol. Ez személyesen, mint opponenst, nem zavart, de ez bizonyos „inkoherenciához” vezetett.

Valóban javította volna az értekezés koherenciáját az ábrák szövegének egységes magyarra fordítása. Sajnos a rendelkezésre álló idő rövideje miatt az eredetileg angol nyelven megjelent ábrák egy részének újraserkesztését illetve fordítását nem állt módomban elvégezni. Ezúton elnézést kérek a dolgozat olvasóitól.

A 35. oldalon található 1.3 tézispont számomra hiányos, mert a szerző által javasolt kettőstörő lapka behelyezése teljesen többszörös reflexióval (esetleg modulációival) járhat, s erre nem tér ki a szerző.

A kettőstörő lapka használata valóban többszörös reflexióval jár, azonban a kísérletek során nem figyeltünk meg ezzel kapcsolatos interferencia illetve moduláció jellegű hatásokat. Ennek fő oka az lehet, hogy az egymást követő visszavert hullámok közötti optikai úthosszkülönbség (kb. 20 mm) lényegesen meghaladta a használt lézer koherenciahosszát (kb. 0.5 mm). A többszörös visszaverődés egyéb zavaró jeleit (pl. szellemkép) sem észleltük, valószínűleg azok kis intenzitása miatt.

A 10. oldalon a (2.1) formula jelzése „elcsúszott”. Szükségét látnám a p paraméter pontosabb definíciójának. A szöveges rész szóhasználata („ p értéke nagyobb mint 1”) arra utal, hogy p dimenzió nélküli mennyiség, ugyanakkor a 2.1 formula nem erre utal.

Köszönöm a bíráló észrevételét, a (2.1) formulában két hibát is vétettem: egyrészt a pdf konverzió során a formula számozása valóban elcsúszott, másrészt a képlet egy elütést tartalmaz.

A formula a hivatkozott cikk [1] alapján helyesen:

$$p = \frac{\lambda_0^2}{\Lambda^2 \cdot n_0 \cdot \Delta n},$$

ami valóban dimenzió nélküli mennyiség.

A 19. oldal 5. sorában a szerző nemlineáris tároló anyagokról ír. Milyen korlátozó paramétereknek kell a kiválasztott tároló anyagnak megfelelnie?

Ahhoz, hogy az információ dekonvolúciós eljárással ne legyen visszanyerhető, az szükséges, hogy a tárolóanyag válasza az őt ért expozíciós dózis függvényében erős nemlinearitást (pl. telítődést [2]) mutasson. Ez esetben mind a konvolúciós kernel meghatározása, mind a dekonvolúció elvégzése erős zajt eredményez, ami lehetetlenné teszi az adat kiolvasását [3]. A tárolóanyag telítődése azonban (különösen amplitúdó-modulált adatlapok esetén) az adattárolás jel-zaj viszonyát is rontja [4], amire az anyag kiválasztásánál tekintettel kell lenni.

A 23. oldal utolsó sorában „shrinkage” probléma tárgyalásáról ír a hőtágulás figyelembevételéről 0,2-1 mm vastag anyagok esetében. Milyen korlátozások mellett nem zavaró a hőtágulás hatása (lineáris, tömbi, méretváltozás stb.)

A zsugorodásra (az angol szaknyelvben „shrinkage”) és a hőtágulásra való érzékenység nagy mértékben függ az adattároló rendszer geometriájától és a használt multiplexelési technikáktól. Egy síkhullámokkal és szögmultiplexeléssel működő „egyszerű” rendszer esetében, (mint pl. az értekezés 3. ábráján bemutatott „InPhase” elrendezés) a következő megállapításokat tehetjük:

A diffrakciós szög és a rácsperiódus közötti kapcsolatot leíró rácstörvény alapján:

$$p \cdot (\sin \Theta_s + \sin \Theta_r) = m \cdot \lambda,$$

ahol p a hologram rácsperiódusa, Θ_s és Θ_r a rekonstruált tárgyhullám kilépési szög illetve a referenciahullám beesési szöge, m a diffrakció rendje, λ pedig a fény hullámhossza. A zsugorodás vagy hőtágulás eredményeképpen bekövetkező infinitezimális lineáris méretváltozást dp -vel jelölve kiszámíthatjuk a tárgyhullám kilépési szögének változását:

$$d\Theta_s = \frac{-m \cdot \lambda}{p^2 \cdot \cos \Theta_s} \cdot dp$$

A diffrakciós szög változása akkor nem okoz hatásfokcsökkenést illetve torzulást a vastag hologramban, ha ez a szög elhanyagolható (legalább egy nagyságrenddel alacsonyabb) a Bragg-szelektivitás mellett (ld. értekezés 1. táblázat, 12. oldal), azaz:

$$d\Theta_s \ll \Delta\Theta_{Bragg} \cong \frac{\lambda}{2L \cdot \sin \Theta_s}.$$

Ebből kiszámítható a Bragg elhangolódáshoz tartozó relatív lineáris méretváltozás:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\lambda}{2m \cdot L \cdot \tan \Theta_s} \cong \frac{\lambda}{L}$$

A rendszer relatív lineáris méretváltozásra vonatkozó tűrése ennél 1 nagyságrenddel alacsonyabb, tehát 0.2 mm illetve 1 mm anyagvastagságot és 500 nm hullámhosszat feltételezve rendre $2.5 \cdot 10^{-4}$ illetve $0.5 \cdot 10^{-4}$. A minta transzverzális lineáris hőtágulási együtthatója kb. $10^{-5} K^{-1}$, ez azt jelenti, hogy 0.2 mm anyagvastagság esetén 25 °C illetve 1 mm anyagvastagság esetén 5 °C hőmérsékletváltozás mellett nem zavaró a hőtágulás hatása.

A 25. oldal utolsó előtti sorában jelzett megjegyzés, – mely szerint korábbi PhD dolgozatok-ban szerepeltek a jelzett eredmények – igen dicséretes, ugyanakkor jó lett volna látni az említett értekezések listáját.

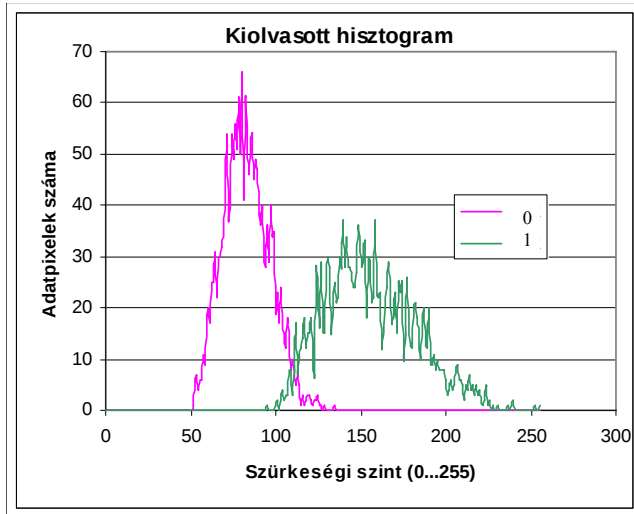
A háromállapotú modulációval valamint a fázismaszkokkal kapcsolatos a jelen dolgozatban nem szerepeltetett eredményeket leíró PhD értekezések:

- Reményi Judit: „Optoelektronikai eszközök és információ-technológiai alkalmazásaik”, PhD dolgozat, témavezető: Lőrincz Emőke
- Várhegyi Péter: „Új modellek és eszközök a holografikus adattároló rendszerek kutatásában”, PhD dolgozat, témavezető: Koppa Pál

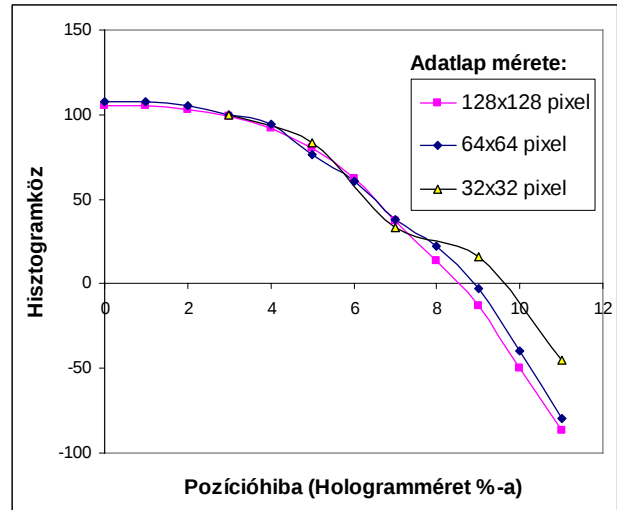
A 31. oldal 13 ábráján (s általában a dolgozat többi részében sincs utalás a mérési hibára) a cca 7%-nál jelzett „fura” viselkedésre van-e valami adekvát magyarázat?

A 31. oldal 13. ábráján a görbe 7% felett tapasztalt visszahajlása valóban „mérési” illetve modellezési hiba, amely abból adódik, hogy a szimuláció során véges méretű adatlapokat használunk. Az adatlapok korlátozott pixelszáma miatt a kiolvasott adatlap pixeleinek szürkeszint-eloszlása (hisztogramja) véletlenszerű zajt tartalmaz, amint ezt a mellékelt 1.a ábra mutatja egy 64x64 pixeles adatlap esetére. A kiolvasás minőségét a logikai 0 illetve 1 értékek elkülönülésének (illetve átfedésének) mértéke mutatja meg. Ezt a mennyiséget hisztogramköznek nevezzük, amely átfedés esetén negatív értéket vesz fel. Az 1.a ábrán jól látható, hogy a kiolvasás zaja miatt a hisztogramköz kiolvasása hibával terhelt, és ez okozza a dolgozat 13. ábráján tapasztalható hullámozást. A zaj mértéke az adatlap méretének növelésével csökkenthető, és az említett hiba szinte teljesen kiküszöbölhető. Ennek bemutatására elvégeztem a szimulációt 3 különböző adatlap méretre, amint azt az 1.b ábra mutatja. Érdekes megfigyelni, hogy a három

görbe eltérése pontosan a bíráló által említett 7%-os pozícióhiba felett kezd jelentőssé válni. Ez annak köszönhető, hogy a hologram síkjában elhelyezkedő aluláteresztő szűrő kb. 7% hologram-elmozdulásnál kezd a hologramba jelentősen belevágni (ld. 2. ábra). A levágás okozta zaj mértéke pedig a hologram síkjában tapasztalt szemcsekép méretével arányosan - az adatlap méretével fordítottan arányosan - nő. Összegzőképpen megállapítható, hogy a vizsgált effektust a véges pixelszámból származó fluktuációk okozzák, amelyek azonban nem befolyásolják a javasolt fázis-amplitúdó átalakítási megoldás hibatűrő képességére vonatkozó megállapítást.

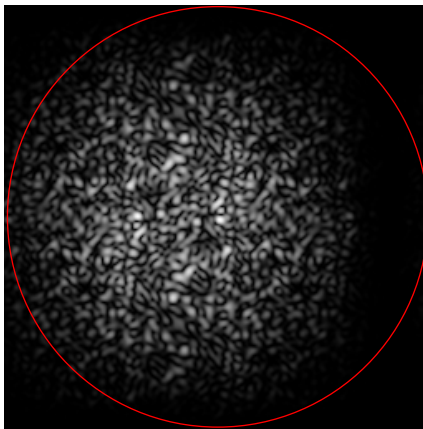


a.)

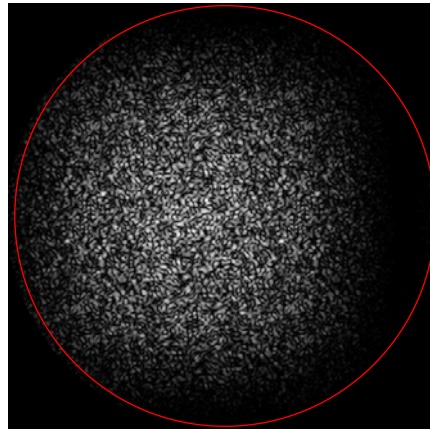


b.)

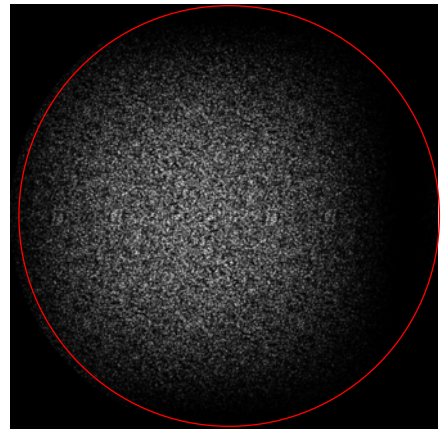
1. Ábra: Egy 64x64 pixeles adatlap pixeleinek szűrkeszint-eloszlása 10% pozícióhiba esetén (a.), illetve a hisztogramköz értéke a pozícióhiba függvényében három különböző méretű adatlapra (b.) (szimulációs eredmények)



a.)



b.)



c.)

2. Ábra: A hologram síkjában megfigyelt intenzitáseloszlás 3 különböző adatlapméretre: 32x32 (a.), 64x64 (b.) illetve 128x128 (c.). A piros kör a hologram síkjában elhelyezkedő aluláteresztő szűrőt mutatja 8 % pozícióhiba esetén (szimulációs eredmények)

Az 51. oldalon a 25.b ábrán az üres karikára nem találtam utalást.

A 25.b ábra titkosítás kulcshossza látható a rendszer jel-zaj viszonyának függvényében, ahol a görbén fekvő üres karika a kísérleti rendszer jel-zaj viszonyát és kulcshosszát jelöli.

A 63. oldalon az 5.3 formula Green tenzora milyen szimmetria tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzen?

A dolgozat 63. oldalán az 5.3 és 5.4 formula a hullámegyenlet vektori megoldását írja le Green függvényes formalizmussal. Az ott szereplő Green-tenzor a vektori formában felírt hullámegyenlet megoldása homogén izotróp közegben elhelyezkedő pontszerű forrás esetén [5]:

$$\overline{\overline{G}}(\vec{r} - \vec{r}') = \left(\overline{\overline{I}} + \frac{jk_B R - 1}{k_B^2 R^2} \overline{\overline{I}} + \frac{3 - 3jk_B R - k_B^2 R^2}{k_B^2 R^4} \overline{\overline{R}} \circ \overline{\overline{R}} \right) \frac{\exp(jk_B R)}{R},$$

ahol $\vec{r}$ a megfigyelési pont, $\vec{r}'$ a forrás helyvektora, $\overline{\overline{R}} = \vec{r} - \vec{r}'$, $R = |\vec{r} - \vec{r}'|$, k_B a közegben terjedő hullám hullámszáma, j a képzetes egységvektort, $\overline{\overline{I}}$ az egységtenzort és $\circ$ két vektor diadikus szorzatát jelöli. A fenti Green tenzor alapvető szimmetria tulajdonságai homogén izotróp közeg esetén a következők: a tenzor szimmetrikus [$G_{ij}(\vec{r} - \vec{r}') = G_{ji}(\vec{r} - \vec{r}')$], azaz a forrás és a megfigyelés polarizációja felcserélhető, valamint a forrás és a megfigyelési pont felcserélésére ($G_{ij}(\vec{r} - \vec{r}') = G_{ij}(\vec{r}' - \vec{r})$), és eltolására invariáns ($G_{ij}(\vec{r} + \vec{r}_0 - (\vec{r}' + \vec{r}_0)) = G_{ij}(\vec{r}' - \vec{r})$).

A 71. oldal 36/b ábrán jó lett volna néhány tájékoztató „méretet” bejelölni.

A 36/b ábrán egy mikrohologram intenzitáseloszlása látható az yz síkban. A 2 dimenziós eloszlást a használt matematikai szoftver kép formájában generálja, amely méreteket nem tartalmaz. Valóban hasznos lett volna a főbb méreteket utólag jelölni. Megjegyzem, hogy a 36/a és 36/c ábrákon ugyanezen intenzitáseloszlás két metszete látható az optikai tengely (z tengely) illetve egy arra merőleges (x vagy azzal ekvivalens y) tengely mentén, ahol a mikrohologram mérete a skáláról leolvasható.

A 80-81. oldalon – egyébként szépen leírt – konfokális szűrésre vonatkozó rész utal a Berliini Műszaki Egyetemen készült kísérletekre, de nem látszik a referenciára való utalás. Mind a 43, 44, 45 ábrán vannak olyan „tézisek”, amelyek pár soros magyarázatot igényeltek volna.

A kísérleti eredmények és a modell jó egyezését bemutató első eredményeket az értekezésben S34-gyel jelölt saját közleményben publikáltuk [6]. Valóban hasznos lett volna erre a publikációra itt is hivatkozni. A későbbi eredmények sajnos csak konferenciákon és a berlini kollégák által jegyzett értekezésekben kerültek nyilvánosságra.

A 43, 44, 45 ábrák fő konklúziója számomra az, hogy a konfokális szűrés annál jelentősebben csökkenti a mikrohologramok közti áthallást és növeli az elérhető adatsűrűséget, minél kisebb méretű mikrohologramra alkalmazzuk. Kísérleti körülmények között a konfokális szűrőnek még nagyobb jelentősége van, ugyanis nem csak a környező mikrohologramokból származó áthallást, hanem a holografikus anyag inhomogenitásáról vagy az esetlegesen rákerülő porszemekről illetve karcolásokról szóródó fényt is kiszűri.

Budapest, 2013.10.30

Koppa Pál

Irodalom:

-
- [1] M. G. Moharam and L. Young, "Criterion for Bragg and Raman-Nath diffraction regimes," Appl. Opt. 17, 1757-1759 (1978)
 - [2] Péter Várhegyi, Árpád Kerekes, Szilárd Sajti, Ferenc Ujhelyi, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas, P.S. Ramanujam, Saturation effect in azobenzene polymers used for polarization holography, J. Appl. Phys. B 76, 397- 402 (2003)
 - [3] Bing-Chu Chen and He-Zhou Wang, "Optically-induced-potential-based image encryption," Opt. Express **19**, 22619-22627 (2011)
 - [4] Péter Várhegyi, Pál Koppa, Ferenc Ujhelyi, E. Lőrincz, System modeling and optimization of Fourier holographic memory, Applied Optics, Vol. 44, Page 3024 (May 2005)
 - [5] Oliver J. F. Martin and Nicolas B. Piller, Electromagnetic scattering in polarizable backgrounds, Physical Review E, 58, Number 3, (1998)
 - [6] Zsolt Nagy, Pál Koppa, Enrico Dietz, Sven Frohmann, Susanna Orlic, Emőke Lőrincz, „Modeling of multilayer microholographic data storage”, Applied Optics Vol. 46, Issue 5, pp. 753-761 (2007)