

**Új modellek és eszközök a holografikus
adattároló rendszerek kutatásában**

PhD téziszfüzet

Várhegyi Péter

Témavezető: Koppa Pál

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

2005.

A kutatás előzménye

A holografikus adattárolás célja digitális információ tárolása hologramok formájában, amely ígéretes alternatívája a jelenlegi optikai adattároló eszközöknek. A holografikus adattároló rendszerek az információt leggyakrabban kétdimenziós kép formájában jelenítik meg, ezért a lap szervezésű optikai memóriák csoportjába tartoznak. Az információ egy fény modulátor segítségével fekete-fehér vagy szürke képekben jelenik meg, és a képpontok, pixelek szűrkeességében tárolódik. Ebből a képből általában Fourier hologramot készítenek, és rögzítenek a holografikus tároló anyagban. Az eltárolt hologramot a kiolvasás során rekonstruálják, és az így visszakapott képből valamilyen detektor mátrixszal nyerik ki a tárolt információt. A holografikus adattároló rendszerek jellemzésének két fontos mérőszáma van. Az első a az adatsűrűség, amely a felület vagy térfogat egységben eltárolt bitek mennyiségét mutatja meg. A másik a nyers bit hiba arány (Bit Error Rate – BER), amely azt mutatja meg, hogy az adatok kiolvasása során a bitek mekkora része volt hibás a hibajavító kódok alkalmazása előtt.

A holografikus adattárolás igénye a holográfia felfedezésével egyidős. A kutatásának napjainkban új erőt ad a szükséges optoelektronikai eszközök (lézerek, fénymodulátorok, detektor mátrixok, stb.) és tároló anyagok fejlődése. Sok erre irányuló koncepcionális és kísérleti munka folyik jelenleg is, melyekkel párhuzamosan egyre nagyobb az igény a rendszert és a tároló anyagot hűen leíró modellek alkalmazására. A szakterületen az optikai rendszereket azok pont szórás függvényével szokás modellezni. Ezeket általánosan konvolúciós modelleknek nevezik, mert a pont szórás függvény és az egyes pixelek szűrkeességének konvolúcióját számítják ki. Az eddig kifejlesztett modellek többnyire speciális kérdések megválaszolására irányultak, csak a rendszerek egyes részeit írják le, és kevés számú szomszédos pixel hatását veszik figyelembe.

Célkitűzések

Doktori munkám célja egy jól használható pontos és átfogó modell felállítása volt amely figyelembe veszi az oldalszervezésű adatok pixelei közötti kölcsönhatást, a rendszer és a tároló anyag közötti összefüggéseket és ezzel új területeket nyit meg a holografikus adattároló rendszerek kutatása és fejlesztése számára. A holografikus adattárolás szakterületén eddig hiányzó, a teljes hullámfront képén alapuló, holografikus adattárolást komplex egész rendszerként kezelő modellt kívántam alkotni. Mivel ilyen modellek általában gyors Fourier transzformáción (Fast Fourier Transform – FFT) alapulnak, ezért az FFT modelleknek csoportjába tartoznak.

A kutatás gyakorlati célja volt a modell megvalósítása egy szimulációs szoftverben és felhasználása holografikus adattároló rendszerek vizsgálatához, optimalizálásához, tervezéséhez, javításához, továbbfejlesztéséhez. Eredményeimet alkalmaztam a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és az Optilink Kft. közös munkájaként készülő Holografikus memória kártya (Holographic Memory Card – HMC) rendszer fejlesztésében.

Dolgozatomban ismertetem a modell felállítására tett kutatásaimat, a modell megvalósítását, a tároló anyag vizsgálatát és leírásának beépítését a modellbe. Beszámolok eredményeimről, a holografikus rendszerek tervezése és optimalizálása területén. Eredményeimet a következő négy tézispontban foglalom össze.

Új tudományos eredmények

1. Megalkottam a Fourier típusú holografikus adattároló rendszerek egy általános modelljét, amely a szakirodalomban tárgyalt modelleknél jelentősen bővebb. A modell figyelembe veszi az oldalszervezésű adatok pixelei közötti kölcsönhatást, a rendszereket alkotó optikai, opto-elektronikai eszközöket és általános rendszerleírást tesz lehetővé. Rámutattam, hogy a különböző fizikai effektusok együttes hatása nem modellezhető az egyes hatások szétválasztásával azok bonyolultsága és nemlineáris hatása miatt. Felismertem, hogy nem elég egyes pixeleket vagy pixelcsoportokat külön vizsgálni, ahogy azt az eddigi modellek tették, hanem a teljes tárolt kép feldolgozása szükséges. A modellezés segítségével elkészítettem az FFT algoritmuson alapuló szimulációs szoftvert. Szimulációs vizsgálatokkal ellenőriztem a modellezés helyességét, eredményeimet a HMC rendszerrel végzett kísérletekkel vettem össze, amely bebizonyította, hogy a modell jól leírja a Fourier típusú holografikus adattároló rendszerek működését, felhasználható azok analízisére, optimalizálására és tervezésére. [1, 2, 3]

2. A modell keretein belül megalkottam a holografikus tároló anyag dinamikai tulajdonságainak leírását a tároló anyag nemlineáris válaszának és telítődésének nagy pontosságú modellezésére. Szimulációs és kísérleti vizsgálatok összehasonlításával ellenőriztem a tároló anyag leírásának helyességét, és megmutattam a hatás figyelembe vételének szükségességét. A modell segítségével megvizsgáltam a holografikus adattárolásban széles körben használt azobenzén oldalláncú poliészter dinamikai viselkedését, és felismertem, hogy elsősorban annak telítődése alapvetően meghatározza az adattároló rendszer tulajdonságait, mint a bit hiba arányt és a diffrakciós határfokot. A szakirodalomban ezt a hatást eddig nem vették figyelembe. [4, 5]

- 16 E. Lőrincz, G. Szarvas, P. Koppa, F. Ujhelyi, G. Erdei, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Sajti, A. Kerekes, P.S. Ramanujam, „Different solutions of high density holographic data storage”, invited talk at Kick Off Meeting of the COST Action P8, "Materials and Systems for Optical Data Storage and Processing", Berlin, June 24-25 2002
- 17 E. Lőrincz, G. Szarvas, P. Koppa, F. Ujhelyi, G. Erdei, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Sajti, A. Kerekes, T. Ujvári, P. S. Ramanujam, „Polarization holographic data storage using azobenzene polyester as storage material”, invited paper at Photonic West, Conference 4991 Organic Photonic Materials and Devices VI, Optoelectronics 2003, 25-31 January 2003. San Jose, California, USA, published in Proc. of SPIE 4991 Organic Photonic Materials and Devices VI., J. G. Grote, T. Kaino editors, pp. 34-44.
- 18 P. Koppa, G. Szarvas, F. Ujhelyi, G. Erdei, A. Sütő, P. Várhegyi, T. Ujvári, Sz. Sajti, P. S. Ramanujam, E. Lőrincz, „Holographic data storage with organic polymer films”, invited paper at SPIE Annual Meeting, 3-8 August 2003, San Diego, California, USA, Conference AM436, Proc. of SPIE 5216, Organic Holographic Materials and Applications, ed. Klaus Meerholz, pp. 165-177.
- 19 P. Koppa, P. Várhegyi, T. Ujvári, M. Lovász, G. Szarvas, F. Ujhelyi, G. Erdei, J. Reményi, Domján, A. Sütő, E. Lőrincz, „Application of polarization holography for data storage”, COST P8 Workshop in Paris, 16-17 September, 2004
- 20 T. Ujvári, P. Koppa, M. Lovász, P. Várhegyi, Sz. Sajti, E. Lőrincz, P. Richter, „Secure data storage system based on phase-encoded thin polarization holograms”, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 6, pp. 401-411, 2004
- 21 M. Lovász, T. Ujvári, P. Várhegyi, A. Sütő, P. Koppa, „Security application of polarization holography”, COST P8 Workshop in Paris, 16-17 September, 2004

További tudományos közlemények

- 11 P. Koppa, G. Erdei, F. Ujhelyi, P. Várhegyi, T. Ujvári, E. Lőrincz, G. Szarvas, S. Hvilsted, P. S. Ramanujam and P. Richter, „Data storage on holographic memory card”, in *Holography 2000*, Tung H. Jeong, Werner K. Sobotka, Editors, Proc. of SPIE Vol. 4149, pp. 309-314, 2000
- 12 E. Lőrincz, F. Ujhelyi, P. Koppa, A. Kerekes, G. Szarvas, G. Erdei, J. Fodor, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted , „Read/write demonstrator of rewritable holographic memory card system”, in *Optical Data Storage 2001*, Terril Hurst, Seiji Kobayashi, Editors, Proc. of SPIE Vol. 4342, pp. 566-573, 2001
- 13 E. Lőrincz, F. Ujhelyi, G. Szarvas, P. Koppa, G. Erdei, F. Józsu, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, P. S. Ramanujam, S. Hvilsted, P. I. Richter: „Polarization holographic data storage system”, invited lecture at the Fourth Annual Meeting of the COST Action P2, Budapest, 16-19 May 2001
- 14 Á. Kerekes, E. Lőrincz, Sz. Sajti, P. Várhegyi, P. S. Ramanujam, S. Hvilsted, „Dynamic behavior of azobenzene polyester used for holographic data storage”, in *Applications of Ferromagnetic and Optical Materials, Storage and Magneto-electronics*, Matthias Wuttig, Lambertus Hesselink, Herman J. Borg, Editors, MRS Proceedings Volume 674, V3.4, MRS Spring 2001
- 15 G. Szarvas, P. Koppa, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Mike, G. Erdei, F. Ujhelyi, L. Gazdag, E. Lőrincz, „Multilayer Thin-film Holographic Storage - a New Approach”, *Technical Digest of ISOM / ODS 2002, Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage 2002, 7-11 July 2002, Hawaii*, pp. 240-242, IEEE Catalog No. 02EX552, 2002
3. Megmutattam, hogy a modellel végzett szimulációs vizsgálatokkal a HMC rendszer megbízhatósága, kapacitása, sebessége optimalizálható. A befolyásoló paraméterek: a referencia nyáláb profilja, a hologram geometriája, a szomszédos hologramok távolsága, az adatok megjelenítésében használt szűrkeszintek száma, a hologram mérete, a térbeli fénymodulátor kítőltési tényezője és kontrasztja és a detektor dinamikai tartománya. A meghatározó paraméterek egy olyan új kombinációját javasoltam, amely nagyobb adatsűrűséget és írási sebességet eredményez kisebb bit hiba arány mellett. A optimalizáció módszere általános, más holografikus adattároló rendszer esetében is felhasználható. [1, 6, 7, 8]
4. A hologram síkjában fellépő intenzitáscsúcsok simítására megalkottam egy új eszközt, a véletlen alaphalós kötött fázislépésű négyzintes fázismaszkot. A különböző intenzitás simító módszerek (fázismaszkok, axikon, defokuszálás) összehasonlító elemzését elvégeztem, amely alapján az új fázismaszk mind a nagy intenzitáscsúcsok simításában, mind a rendszerben elérhető bit hiba arány és írási sebesség szempontjából optimális. Ezen eszköz megtervezése bizonyítja, hogy az FFT alapú modell alkalmas új rendszerfelemek analízisére, tervezésére és iteratív optimalizálására. A HMC rendszerben jelenleg használt kétszintes fázismaszkkal végzett kísérleti eredmények alátámasztják a szimulációs vizsgálatomat. [4, 6, 9, 10]

Az eredmények hasznosítása

A modellezés segítségével elkészített számítógépes szimulációs szoftvercsomag felhasználóbarát, könnyen kezelhető és átlátható program, amely lehetőséget ad a legtöbb lapszervezésű holografikus elrendezés vizsgálatára, az egyes paraméterek, vagy több paraméter együttes optimalizálására. A kutatásban résztvevő kollégáim sikeresen használják ezt a szoftvert kutató, fejlesztő munkájukban. Eredményeik egy része, amelyeket a „további tudományos közlemények” részben sorolok fel nem készülhettek volna el nélküle. Ezenkívül az általam meghatározott optimális paramétereket felhasználtuk a HMC rendszer tervezésénél és továbbfejlesztésénél is.

A tézisponthoz kapcsolódó tudományos közlemények

- 1 P. Várhegyi, P. Koppa, E. Lőrincz: „System modeling and optimization of Fourier holographic memory” elfogadott, várható megjelenés májusban, Applied Optics, 2005
- 2 Várhegyi P., Koppa P.: „Polarizációs Fourier holográfia modellezése és szimulációja”, V. Szimpózium „A Hazai Kvantumelektronikai Kutatások Eredményeiről”, 2003
- 3 Ujvári T., Várhegyi P., Koppa P., Szarvas G., Lőrincz E., Ujhelyi F., Kerekes Á., Domján L., Kalló P., Richter P.: „Holografikus adattárolás”, Magyar Optik konferencia, 2000
- 4 P. Várhegyi, Á. Kerekes, Sz. Sajti, F. Ujhelyi, P. Koppa, G. Szarvas, E. Lőrincz, „Saturation effect in azobenzene polymers used for polarization holography”, Applied Physics B, Vol. 76 No. 4 pp. 397-402, 2003

- 5 P. Várhegyi, Á. Kerekes, Sz. Sajti, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted and P. Richter: „Nonlinear saturation effect in azobenzene polymers used for polarization holography; experiments and theoretical modeling”, COST P2, Budapest, Hungary, 16-19 May 2001
- 6 P. Várhegyi, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas and P. Richter, „System modeling and optimization of the polarization Fourier holographic memory card”, ICO 19 International Conference on Optics, Firenze, Italy, 25-30 August 2002
- 7 P. Várhegyi, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas, and P. Richter, „Optimization of the storage density in thin polarization holograms”, Holography 2000, 10-14 July 2000, St. Pölten, Austria, Tung H. Jeong, Werner K. Sobotka, Editors, Proc. of SPIE Vol. 4149, 2000
- 8 P. Koppa, P. Várhegyi, T. Ujvári, G. Szarvas, S. Hvilsted, P. S. Ramanujam, P. Richter, „Storage density enhancement in holographic memory card system”, Nonlinear Optics for the Information Society, ed. Alfred Driessen, pp. 179-184, ISBN 1-4020-0132-0, Kluwer Academic Publisher, 2001
- 9 J. Reményi, P. Várhegyi, L. Domján, P. Koppa, E. Lőrincz, „Amplitude, phase and hybrid ternary modulation modes of a twisted-nematic liquid-crystal display at ~400 nm”, Appl. Optics, Vol. 42, No. 17, pp. 3428-3434, 2003
- 10 G. Erdei, G. Szarvas, E. Lőrincz, J. Fodor, F. Ujhelyi, P. Koppa, P. Várhegyi, P. Richter, „Optical system of Holographic Memory Card writing/reading equipment”, Proc. SPIE, Vol. 4092, pp. 109-118, Novel Optical System Design and Optimization III, Ed. Jose M. Sasia, 2000