

Tézisfüzet

Kornis János

**Alak és elmozdulás mérése adaptív módszerekkel a TV
holográfia és a digitális holográfia területén**

BME, Fizika Tanszék
2006

Bevezetés

Adaptív mérőrendszernek nevezhetjük azokat a mérőrendszereket, amelyek a mérési folyamat során a mérés bizonyos jellemzőit érzékelve képesek alkalmazkodni valamilyen szinten a mérendő objektum vagy a mérés körülményeinek változásához. Adaptív mérés lehet például egy olyan mérés, amikor az interferometrikus mérőrendszer sorozatmérés végrehajtásakor a különböző tárgyak esetén a tárgyról szórt fény intenzitását mérve változtatja a megvilágítás erősségét azért, hogy a tárgy és a referenciahullám intenzitása minden mérésnél optimális legyen.

A nagyfelbontású, számítógépes környezethez jól illeszthető CCD és CMOS képfelvevő eszközök rohamos fejlődésének köszönhetően mind a szemcsekép mérés technikájában, mind a holográfiában megjelentek az elektronikus feldolgozásra alapuló módszerek. Ezek némi minőségromlás árán ugyan, de a hologramlemez használatára alapuló hagyományos módszerekhez képest lényegesen gyorsabban és gyakorlatilag azonos érzékenységgel képesek diffúz felületű tárgyak alakját, vagy elmozdulását a teljes felületen meghatározni. A szemcsekép interferometria elektronikus változatát TV holográfiának, míg a holográfia digitális megvalósítását digitális holográfiának nevezik.

Az adaptív mérőrendszerekhez, megkülönböztethetjük az adaptív optikai elemek (például számítógéppel vezérelt fényforrások, nyalábosztók, tükrök, térbeli fénymodulátorok) és adaptív szoftvermegoldások szintjét, mint az adaptálhatóság legegyszerűbb megvalósítását.

Az adaptivitás egy magasabb szintje, amikor a mérőrendszer a detektált jelek (jellemzően a felvett intenzitáskép) mért jellemzője alapján változtat valamelyik paraméteren egy adott cél érdekében. Ilyen lehet az az eset, amikor a felvett kép histogramja segítségével a mérőrendszer úgy állítja be az expozíciós időt, hogy a kamera teljes lineáris tartományát kihasználhassa a kamera túlvezérlése nélkül.

Egy bonyolultabb esetben akár több képjellemző meghatározása is szükséges lehet. Ekkor a képet egy úgynevezett képminősítő vektorral minősíthetjük, amelynek a kép histogramja csak egy eleme.

Az adaptív mérőrendszerekhez a legmagasabb szint az adaptív mérési módszer, amikor az alak, vagy az elmozdulás mérése automatikusan történik, függetlenül annak típusától és nagyságától.

A fázisszintetizáló TV holográfia egy ilyen lehetőség. Lényege, hogy lehetőség van nagy elmozdulások, gyorsan változó alakok kompenzációs mérésére.

A módszer fázistöltött interferogramok felhasználásával képes nem létező hullámfront előállítására és ez által nem létező deformáció mezo, vagy alak hasonlítható össze a vizsgált tárgy deformáció mezejével, vagy alakjával. A módszer alkalmazható TV holográfiában és holografikus interferometriában egyaránt.

A fényhullámfront közvetett szintetizálásán alapuló összehasonlító módszereket sikeresen alkalmazhatjuk nagytávolságú összehasonlító mérésekre, amikor a két összehasonlítani kívánt tárgy más-más laboratóriumban található.

A TV holográfiában kifejlesztett közvetett fázisszintetizáló eljárás kiterjeszhető struktúrált fény alkalmazására is.

A neurális hálózatok az agy mintájára létrehozott mesterséges tanuló rendszerek, melyek nagy hatékonysággal használhatók osztályozásos, felismerési problémák megoldásában. Felhasználási területük egyre terjed a karakter- ill. beszédfelismeréstől kezdve az ujjlenyomatok osztályozásáig. Napjainkban már a koherens optikai mérés technikában is alkalmazásra találnak.

Neurális hálózatokat olyan területeken lehetséges a leghatékonyabban felhasználni, ahol egy probléma megoldásának algoritmikus leírása túl bonyolult, meghaladja képességeinket, vagy a befektetni kívánt munka és erőforrás miatt nem kifizetődő. A jól megszokott,

algoritmikus feladatmegoldás során a rendszerünk bemenete és kimenete között meghatározott kapcsolat van, melyet az általunk felállított képletek precízen leírnak – minden ennek megfelelően működik, de a program működési köre csak azokra a változókra terjed ki, amiket mi veszünk figyelembe az algoritmus megszerkesztése során.

A neurális hálózatok esetében a feladatról felhalmozott információ nem képletekben, hanem nagyszámú egyszerű, de összefüggő egységben tárolódik – hasonlóan az agyhoz. A feladat megoldásához nincs szükség algoritmus megadására, az egyes elemi egységekhez tartozó változók lassú módosításával a hálózat egyszerűen betanítható az adott probléma osztályozására, értékelésére. Ennek megfelelően a bemenet/kimenet kapcsolat sem lesz tökéletesen pontos, viszont a rendszer – komplexitásának köszönhetően – alkalmazkodó képessége rendkívül megnövekedett és olyan bonyolult összefüggéseket is fel tud térképezni, melyekre algoritmikus úton nincs mód.

Hatalmas előnye az ilyen rendszereknek az általánosító képesség, és az a tulajdonság, hogy a bemenet nagy zajra sem ront sokat a biztonságos működésen.

A neurális hálózatok alkalmazásának sajátja, hogy a tanítási fázisban nagyszámú bemeneti adatra van szükség. Az interferometrius alkalmazásban ez felveti az interferogramok szimulációjának szükségességét, mivel kísérleti úton több száz interferogram előállítása rendkívül időigényes lehet.

Napjaink egyik legaktívabban kutatott koherens optikai mérési eljárása a digitális holográfia. A digitális holográfiát sokan úgy jellemzik, hogy "kezünkben tarthatjuk a tárgyról szórt fény komplex amplitúdóját".

A komplex amplitúdó ismerete (kiszámolhatósága) számos új lehetőséget jelent. Nagy deformációknál a kiszámolt fázismezőhöz szinte tetszőleges kompenzációs fázistagot adhatunk hozzá, miáltal a mérés során keletkezett interferenciacsíkok kiértékelhetően ritkává tehetők. Tárgyunk alap és deformált állapotához tartozó digitális formában előálló komplex amplitúdó mezőket Interneten keresztül tetszőleges helyre továbbíthatjuk, és ott a helyben felvett komplex amplitúdóval adataink összehasonlíthatók. Ezáltal mód van nagytávolságú összehasonlító mérések végrehajtására.

A legújabb eljárások fejlesztésébe kezdettől fogva Tanszékünk is bekapcsolódott.

Célkitűzések

Munkám során célom volt a diffúz felületek alak- és elmozdulás mérésére szolgáló koherens optikai mérési eljárások két csoportjában, a TV holográfiában és a digitális holográfiában megvizsgálni az adaptív mérési eljárások megvalósításának lehetőségeit és szintjeit.

További célom volt az összehasonlító TV holográfia továbbfejlesztése úgy, hogy a referencia hullámfrontot még szabadabban választhassuk meg, ezáltal még adaptívabb mérési módszerhez jussunk.

Szándékom volt neurális hálózatok alkalmazása interferenciaképek feldolgozásában osztályozási és kiértékelési feladatokra.

Célom volt a digitális holográfiában olyan módszer alkalmazása, amely nagyobb felbontásban rögzíti a tárgy hologramját, és ezzel megnöveli a felső méréshatárt.

A kutatás során alkalmazott eszközök

A méréseket a BME Fizika Tanszékén az Optikai Mérés technika Csoport laboratóriumában végeztem.

A mérésekben felhasznált fontosabb eszközök: 35 mW teljesítményű folytonos üzemi He-Ne lézer, számítógép vezérlésű 10mW teljesítményű diódalézer, 1280x1024 képpont felbontású CCD kamera 6,7 μm képpontmérettel, 800x600 képpontos folyadékkristályos térbeli fénymodulátor 32 μm képpontmérettel, számítógéppel vezérelt piezoelektromos fázistoló.

Más szerzotol származó számítógépes programok: Holovision 2.2 digitális hologramok kiértékelését végző program, Gombkőto Balázs MATLAB-ban írt digitális hologramokat kiértékelő programja, Vásárhelyi Gábor MATLAB-ban írt neurális hálózatok számára előfeldolgozást végző- és önszervező térképet szimuláló programja.

Saját fejlesztésű programok: szemcsekép interferogramokat és digitális hologramokat szimuláló program, csíkkompenzációt és fázisképet számoló program, neurális hálózatokhoz interferenciaképek előfeldolgozását végző program, Kohonen hálózatok működését szimuláló program.

Új tudományos eredmények

1. Adaptív TV holografikus interferométer alak és deformáció mérésére [1-4.]

Felismertem, hogy a BME Fizika Tanszéken, meghatározó közreműködéssel kifejlesztett összehasonlító szemcsekép interferométer továbbfejlesztésével adaptív interferométer hozható létre, amely alkalmas diffúz felületű tárgyak elmozdulásmezejének és alakjának mérésére.

Létrehoztam számítógéppel vezérelhető optikai elemeket (tükör, nyálábosztó, blende).

Nagystabilitású diódalézer hiszterézises homőrséklet-hullámhossz karakterisztikáját kihasználva számítógépes vezérlésű, több hullámhosszon működő fényforrást fejlesztettem ki, melyet adaptív kéthullámhossza alakmérésekben fényforrásként alkalmaztam.

A fenti elemek segítségével felépített interferométerben végzett mérésekkel megmutattam, hogy adaptív mérések hajtatók végre a szemcsekép- és a holografikus interferometria területén, alak és deformáció mérésekor.

Felismertem, hogy az interferogramok előfeldolgozásában is alkalmazhatók adaptív feldolgozási lépések. A megvilágítás egyenletlenségéből és a reflexióképesség változásából eredő láthatóság változást adaptív kiegyenlítő algoritmusokkal szüntettem meg.

2. Fényhullámfront előállítása közvetett módon. [5-12.]

Új módszert vezettem be fényhullámfront közvetett szintetizálására összehasonlító és kompenzációs mérésekben. A módszer fázistoló interferogramok felhasználásával képes nem létező hullámfront előállítására és ez által nem létező deformáció mezo, vagy alak hasonlítható össze a vizsgált tárgy deformáció mezejével, vagy alakjával.

A módszer működőképességét TV holográfiában és holografikus interferometriában is igazoltam.

Létrehoztam a módszerhez tartozó kiértékelő programot, amely sikeresen működik holografikus interferogramok és szemcse korrelációs felvételek esetén is.

Sikeresen valósítottam meg kompenzációs méréseket nagy deformációk meghatározására.

A fényhullámfront közvetett szintetizálásán alapuló összehasonlító méréseket sikeresen alkalmaztam nagytávolságú összehasonlító mérésekre, amikor a két összehasonlítani kívánt tárgy más-más laboratóriumban található.

Vizsgáltam a közvetett hullámfront előállítás hatását a mérések pontosságára és a szükséges fázislépések számát. Vizsgálataimban szimulációkat és próbatárgyakon elvégzett méréseket is felhasználtam.

A TV holográfiában kifejlesztett közvetett fázisszintetizáló eljárást kiterjesztettem struktúrált fény alkalmazására is. Sikeres méréseket mutattam be diffúz és tükröző felület alakjának mérésére.

3. Szimulációs programrendszer kifejlesztése [13-21.]

Felismertem, hogy a szemcsekép interferogramok szimulációjának módszere továbbfejleszthető, ha a szimulációban definiálható alakokkal és felületi érdességgel rendelkező tárgyfelületet is modellezünk.

Megmutattam, hogy figyelembe vehető a nem egyenletes reflexióképesség, a megvilágítás hullámfrontjának alakja és intenzitáseloszlása, valamint kiterjeszhető az alkalmazási kör alakmérésre is.

Megvalósítottam a szimulációs paraméterek több lépésben történő változtatásának lehetőségét, amely az eredmény alakulását mozgókép formájában is szemléltetheti.

Megmutattam, hogy a szimulációs program kiegészíthető virtuális valóságot megvalósító elemekkel. A Fizika Tanszék laboratóriumában használatos mintegy 120 optikai elem háromdimenziós modelljét felhasználva a szimulációs program képes a parancskészletben megadott interferométer háromdimenziós megjelenítésére alkalmas fájlokat elkészíteni.

A szimulációs programot alkalmaztam valós elemekből felépített optikai elrendezés felismerésére és az elrendezés geometriai adatainak rögzítésére.

4. Neurális hálózatok alkalmazása interferenciaképek kiértékelésében [22,23]

Megmutattam, hogy szemcsekép interferogramok esetén felügyelt tanítású többrétegu neurális hálózat alkalmas interferenciaképek osztályozására. E célból felügyelt tanítású többrétegu neurális hálózat szimulációjára alkalmas programot hoztam létre DELPHI környezetben. A szimulációs program kiakasztásához felhasználtam és továbbfejlesztettem a Fizika Tanszéken korábban MATLAB-ban kidolgozott rutinokat.

A neurális hálózat segítségével osztályozási feladatot valósítottam meg holografikus és szemcse interferogramok esetére. A rendszer segítségével intenzitás képeken eldönthető, hogy egy tárgyról készült felvétel tartalmaz-e a tárgyra jellemző hibát. Az eljárás gyakorlatilag 100%-os hatékonyságú holografikus interferogramok esetén, szemcsekép interferogramokra e hatékonyság eléri a 90 százalékot.

Felismertem, hogy Kohonen hálózat alkalmazásával lehetséges szemcsekép interferogramok intenzitásképein a skeleton vonalak előállítása. E célból Kohonen hálózat szimulációjára alkalmas, MATLAB-ban íródott rendszert fejlesztettem ki, amely alkalmas

szemcsekép- és holografikus interferogramok intenzitásképén a szkeleton vonalak kijelölésére. Kidolgoztam az elágazásokat tartalmazó csíkok szkeletonját is megkereső módszert.

A kimunkált eljárások tesztelésére, a hálózatok tanítására mintegy harmincezer interferenciaképet állítottam elő szimulációs programom segítségével.

5. Digitális holográfia alkalmazása összehasonlító és kompenzációs mérésekben [24-27.]

Digitális hologramok alkalmazásával vizsgáltam a közvetett és közvetlen hullámfront eloállítás alkalmazhatóságát összehasonlító és kompenzációs mérésekben.

A közvetlen hullámfront eloállítás módszerét digitális holografikus és TV holográfiai mérési elrendezésben is megvalósítottam. A módszerek méréshatárát összevettem a közvetett hullámfront eloállítást alkalmazó digitális holografikus módszerrel.

Vizsgáltam annak lehetőségét, hogy milyen módon növelhető a képfelvevo eszközök korlátos felbontása ellenére a digitális hologramok felbontása és ezzel együtt a méréshatár.

Javaslatot tettem az interline és a drizzle módszer alkalmazására, mellyel különböző számítástechnikai háttér mellett nagyfelbontású digitális hologram rögzíthető.

Kidolgoztam digitális holográfiára épülő alakmérési eljárásokat, melyek vasúti járművek kerekeinek futófelületét mérik.

Az értekezéshez kapcsolódó publikációk

1. J. Kornis, Z. Füzessy, A.Németh, "Adaptive systems in speckle-pattern interferometry," Applied Optics Vol. 39, 2000, pp. 2620-2627.
2. Füzessy Zoltán, Kornis János, Papp Zsolt, "Nagystabilitású félvezetolézér", Kvantum-elektronika 94 szimpózium Budapest 1994 október 10. oldal.
3. János Kornis, Attila Németh, Nasser Moustafa, "An adaptive system for speckle pattern interferometry," International Conference on Applied Optical Metrology Proc. SPIE, Vol. 3407, 1998, pp. 267-272.
4. János Kornis, Zoltán Füzessy, Attila Németh, "Adaptive speckle pattern interferometry," Optical Engineering for Sensing and Nanotechnology (ICOSN'99) Proc. SPIE, Vol. 3740, 1999, pp. 70-73.
5. Kornis János, Nasser Moustafa, Németh Attila, "Összehasonlító TV holográfia alkalmazása nagy deformációk mérésére," KVANTUMELEKTRONIKA'97 kiadvány P76.
6. Attila Németh, János Kornis, "Shape measurement by speckle interferometry using holographic optical element," Interferometry'99 Proc. SPIE, Vol. 3744, 1999, pp. 160-166.
7. J. Kornis, A. Németh, "Fringe compensation displacement measurement using synthesized reference beam TV holography," Optics Communications Vol. 167, 1999, pp. 203-210.
8. A. Németh, J. Kornis, Z. Füzessy, "Fringe compensation measurement in holographic interferometry using phase-shifted interferograms," Optical Engineering Vol. 12, 2000, pp. 3196-3200.
9. Z. Füzessy, J. Kornis, A. Németh, "Fringe pattern compensation by synthesis of phase shifted interferograms," Lasers in Metrology and Art Conservation, München, 2001, pp. 35-44.

10. Z. Füzessy, J. Kornis, A. Németh, "Remote comparison: fringe compensation by synthesis of interference phases," Proc. Fringe'01, 2001, pp. 383-390.
11. János Kornis, Attila Németh, Salah Elkahamushi, "Applications of synthesized reference beam TV holography," Interferometry'99 Proc. SPIE, Vol. 3744, 1999, pp. 523-528.
12. J. Kornis, "Image processing techniques in evaluation of correlograms and their influence on accuracy," Proc. SPIE, Vol. 1983, 1993, pp. 382-387.
13. R. Battiston, G. Ambrosi, W. Burger, J. Kornis, P. Levtchenko, "An optical alignment system for the high precision silicon tracker of the AMS on the International space station Alpha," International Symposium on Laser Applications in Precision Measurements, Balatonfüred, Hungary, 1996, pp. 312-318.
14. J. Kornis, N. Bokor, "Simulations in speckle metrology," International Symposium on Laser Applications in Precision Measurements, Balatonfüred, Hungary, 1996, pp. 233-237.
15. J. Kornis, N. Bokor, "Simulation of speckle phenomena," International Conference FRINGE-97 Bremen, 1997, pp. 117-121.
16. Kornis János, Németh Attila, "A lézer szemcse számítógépes szimulációja," KVANTUMELEKTRONIKA'97 kiadvány P75.
17. János Kornis, Nándor Bokor, Attila Németh, "A numerical simulation package for speckle metrology," International Conference on Applied Optical Metrology Proc. SPIE, Vol. 3407, 1998, pp. 297-302.
18. J. Kornis, "Virtual optical laboratory for speckle metrology," Optical Measurement Systems for Industrial Inspection, 2003 München, pp. 872-879.
19. J. Kornis, "Coherent optical metrology in virtual reality", Proc. of SPIE Vol. 5457 83-91, 2004.
20. J. Kornis, "Application of virtual optical laboratory in the education and research," Physics Teaching in Engineering Education PTEE 2005 Proceedings, (ISBN 2-914771-28-2), Section T6, 2005, p.6.2.
21. Zs. Papp, J. Kornis, "Digital holography by two reference beams," Proc. Optical Engineering for Sensing and Nanotechnology, SPIE Vol. 4416. 2001, pp. 112-115.
22. J. Kornis, T. Vásárhelyi, "Application of artificial neural network in holographic and speckle interferometry," Speckle 2003 Trondheim, 2003, pp. 212-217.
23. Kornis János, Vásárhelyi Gábor, "Neurális hálózatok alkalmazása interferenciaképek feldolgozásában," Kvantumelektronika 2003 szimpózium, Budapest, 2003, BME
24. János Kornis, Balázs Gombkőto, Zoltán Füzessy, "Comparative displacement measurement by digital holographic interferometry," Proc. SPIE, Vol. 5457, 2004, pp. 492-503.
25. A. Szabó, J. Kornis and I. Zobory, "Measuring Instruments and evaluation Procedures for Checking the Tread and Flange Geometry of Railway Wheels," International Conference on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, 2004. (nyomdában)
26. J. Kornis, "Application of super image method in digital holography," Proc. of SPIE Vol. 5856, 2005, pp. 245-253.
27. János Kornis, András Szabó, István Zobory, "Wave front synthesis for comparative measurement in digital holography and TV holography," International Conference SPECKLE06, Nimes, France, elfogadott konferencia eloadás, nyomdában

Egyéb, az értekezés tárgyához kapcsolódó közlemények

28. B. Gombkőto, J. Kornis, Z. Füzessy, M. Kiss, P. Kovács, "Difference displacement measurement by digital holography using simulated wavefronts," *Appl. Opt.* Vol. 43. 1621-1624, (2004).
29. B. Gombkőto, J. Kornis, Z. Füzessy, Sz. Beleznai, "Displacement measurement using fringe compensation TV- holography: limitations and properties," *Optical Engineering* 43(03) pp. 684-688, (2004).
30. Gombkőto B, Kornis J, Füzessy Z, "Difference displacement measurement using digital holography," *Optics Communications* Vol.214 (1-6) pp.115-121, (2002).
31. Moustafa NA, Kornis J, "Comparative measurement in speckle interferometry using holographically generated reference wave by single reference beam technique," *OPT. COMMUN.* 172 (1-6): 9-16 DEC 15 (1999).
32. Moustafa NA, Kornis J, Füzessy Z., "Comparative measurement by phase-shifting digital speckle interferometry using holographically generated reference wave," *OPT. ENG.* 38 (7): 1241-1245 JUL (1999).
33. I. László, Z. Füzessy, J. Kornis, F. Gyimesi, "Comparative measurement by speckle interferometry using holographically reconstructed master object," *Opt. Eng.* 36, 12, 3323-3326, (1997).
34. Z. Füzessy, F. Gyimesi, B. Ráczkevi, J. Makai, J. Kornis, I. László, "Holographic illumination for comparative measurement," *Opt. Commun.*, 132, 29-34, (1996).
35. I. Banyász, J. Kornis, "High resolution lensless Fourier-transform digital holography," *Proc. of SPIE* Vol. 5856 pp. 71-79, (2005).
36. Zoltán Füzessy, Ferenc Gyimesi, János Kornis, Béla Ráczkevi, Vencel Borbély, Balázs Gombkőto, "Analogue and digital developments for project DISCO at Budapest University of Technology and Economics," *Proceeding of SPIE* Vol. 5457 pp. 610-620, (2004).
37. Zs. Papp, J. Kornis, B. Gombkőto, "Monte-Carlo method in digital holography," *Proc. Speckle Metrology, SPIE* 4933, Trondheim, 39-41 (2003)
38. Zs. Papp, J. Kornis, B. Gombkőto, "New methods in recording and reconstruction of digital holograms," *Proc. of SPIE* Vol. 5144 pp.170-174, (2003)
39. B. Gombkőto, J. Kornis, Z. Füzessy, T. Rózsa, "Difference displacement measurement using digital holograms as coherent masks," *Proc. of SPIE* Vol. 5144 pp. 578-584, (2003).
40. Zs. Papp, J. Kornis, B. Gombkőto, "New methods in recording and reconstruction of digital holograms," *Lasers in Metrology and Art Conservation, 2003 München* 157-159 (2003).
41. I. László, Z. Füzessy, J. Kornis, F. Gyimesi, "Comparative digital speckle pattern interferometry," *International Symposium on Laser Applications in Precision Measurements, Balatonfüred, Hungary, June 1996, Conference Proceedings*, pp. 146-150. (1996).
42. Z. Füzessy, J. Kornis, F. Gyimesi, "Evaluation of Holographic and Electronic Fringes for Comparative Measurement," *Proceedings of the Workshop Fringe '93 on Automatic Processing of fringe patterns, Bremen, Eds.: W. Jüptner, W. Osten*, 78-83, (1993)
43. J. Kornis, A. Németh, N. Moustafa, I. László, "Application of speckle interferometry for wide scale displacement measurement," *Int. Conf. FRINGE-97 Bremen*, pp.337. (1997)
44. Gombkőto Balázs, Kornis János, Füzessy Zoltán, "Különbbségi elmozdulásmérés digitális holografikus interferometriával," *Kvantumelektronika 2003 szimpózium, Budapest, 2003. okt. 21., BME*
45. Kornis János, Füzessy Zoltán, Papp Zsolt, Ádám Antal, "Kétfrekvenciás diódalézeres útméno," "Kvantumelektronika 94" szimpózium Budapest 1994 október 40. oldal

