

**NAGY ELMOZDULÁSOK MÉRÉSE  
HOLOGRAFIKUS  
INTERFEROMETRIÁVAL**

**PhD téziszfüzet**

**dr.univ. RÁCZKEVI BÉLA**

**TÉMAVEZETŐ: DR. GYÍMESI FERENC**

**BUDAPEST**

**2004.**

## **A kutatások előzménye**

A holografikus interferometria a holográfia mérés technikai alkalmazása, ezért természetes a gyakorlati felhasználási eredményre való törekvés. Ugyanakkor a holografikus interferometria általános elmélete, és ezen belül egyes nagyon fontos, alap kutatás jellegű kérdések tisztázatlanok maradtak, vagy megragadtak egyszerű gyakorlati megközelítések szintjén. Ezek közé tartozik az elmozdulás mérés pontosságának és felső korlátjának valóban bonyolult kérdése. Az általánosan elfogadott gyakorlati érték igen messze van a valódi végső korláttól, és ezáltal a holografikus interferometriának jelentős területe marad kihasználatlanul.

A méréshatár megnövelésére ad lehetőséget a Budapesti Műszaki Egyetem Fizika Tanszékén Füzessy Zoltán és Gyimesi Ferenc által kifejlesztett különbségi holografikus interferometria (KHI), amely módszer közvetlen optikai, interferometrius kivonást végez - a kivonandó, összehasonlítandó csíkrendszerek a már beállított mérési eljárás során külön-külön nem is jönnek létre, csak különbségük jelenik meg. A KHI ezen teljesítményét tekintve egyedülálló megoldás, vele azonos minőségű összehasonlítást nyújtó módszer nem ismert. A szemcseképes interferometriában létezik ugyan hasonló érzékenységű közvetlen összehasonlítási lehetőség, ezek a szemcseképes módszerek azonban csak gyengébb láthatóságú, ún. korrelációs csíkokat állítanak elő. Minőségük javítható ugyan számítástechnikai módszerekkel, de a korrelogramok alapvetően zajosabbak, mint a holografikus interferencia csíkok.

## **Célkitűzések**

A dolgozat célja a Walles, Schumann elmélet által megjósolt, a gyakorlatban soha nem alkalmazott, kihasználatlan lehetőségnek elméleti és kísérleti elemzése, a gyakorlati felső méréshatár kiterjesztése – két különböző megközelítésben. Az egyik út a "nyers erő" alkalmazása, azaz a számítógépes képfeldolgozás lehetőségeivel élve, a sűrű interferencia csíkok optikai nagyítása

és szoftveres zajszűrése, és a nagy elmozdulásoknál már nem megkerülhető magasabb rendű jelenségek (fázis- és láthatóságváltozás) és hatásaik vizsgálata a mérés pontosságára.

A másik út a már létező, közvetlen interferometrikus összehasonlítást célzó, különbségi módszer, a KHI alapjául szolgáló valós holografikus képekkel történő megvilágítás elvének alkalmazása a szemcseképes interferometria különbségi változatában (a KHI analógiájára KESPI). További cél a holografikus megvilágításnak, illetve a pontatlan tárgycserének, mint újabb lehetséges hibaforrásnak az elemzése. Ha ugyanis pontatlan a tárgyhullám fázisfrontjának a megfordítása, akkor a mester- és a teszt tárgy nem megfelelő pontjai kerülnek összehasonlításra.

## **Vizsgálati módszerek**

Munkám kísérleti részét a BME Fizika Tanszék holográfiai laboratóriumában végeztem, ahol a tudományterület műveléséhez rendelkezésre álltak a szükséges eszközök, úgymint sötétszoba, rezgésmentes asztal, nagyteljesítményű és nagy koherenciahosszú argon- és kripton-ion lézerek, optikai minőségű tükrök, osztók, nyalábtágítók. Ezen elemekből az adott célkitűzésnek megfelelő mérési elrendezéseket állítottam össze.

Tevékenységem elméleti részéhez felhasználtam a holografikus csíkrendszer kialakulását, annak láthatóságát és az interferogram fázisát tárgyaló alapművet: Walles doktori értekezését, és annak Gyímesi-Füzessy által végzett kiterjesztését a KHI-ba. A számításokban a fókuszfolti fényeloszlást leíró Debye-integrált, a klasszikus interferometriából ismert van Cittert-Zernike elmélet vonatkozó megállapításait, illetve a deformáció tenzor diadikus szorzat-reprezentációját használtam.

## **Új tudományos eredmények**

1. Új, az eddigieknél egyszerűbb és hatékonyabb **eljárást fejlesztettem ki** a csíklokalizációt zavaró, a **tárgy síkjával párhuzamos elmozdulások** gyors mérésére, illetve kiszűrésére. Kimutattam, hogy a csíkok láthatóságát lerontja,

fázisát és keletkezési helyét nagy mértékben befolyásolja a síkbeli elmozdulás-összetevő. Ezen jelenség kiszűrése lényeges a síkra merőleges elmozdulás vizsgálatakor. **Kidolgoztam** a vizsgálandó tárgynak a fenti szempontnak eleget tevő, gyorsan elvégezhető mérési **módszer elméletét** és kísérletekkel bizonyítottam annak működőképességét. [1]

2. **Kísérletileg igazoltam**, hogy a **tárgy síkjára merőleges elmozdulás** mérése esetén a holografikus interferogramok kiértékelő összefüggése által feltételezett **pontosság** – nagy elmozdulásoknál jelentősen – függ a mért **elmozdulás nagyságától**, illetve a megfigyelő **optikai eszköz aperturájának méretétől**. **Felismertem**, hogy a teljesen azonos optikai leképezési körülmények biztosítása **valamennyi tárgyponthoz** elengedhetetlen. E nélkül ugyanis az egyes tárgyponthoz rendelhető interferometriai fáziskülönbség nem határozható meg egyértelműen. Az azonos körülményeket két-lencsés és nagyítós **Fourier-szűrés** alkalmazásával valósítottam meg. [2] , [7]

3. **Mérésekkel alátámasztottam** a holografikus interferometriai csíkrendszerek láthatóságának az elmélet által megjósolt viselkedését a **tárgysíkra merőleges elmozdulás** és a leképező **optikai eszköz fókuszfolt-méret** arányának függvényében. Kimértem a **láthatóság-függvény lecsengő oszcillációját**, nagy elmozdulásoknál egészen 5 periódusig. Ehhez a méréshez is kétlencsés és nagyítós Fourier-szűrési megfigyelési elrendezést alkalmaztam a tökéletesen azonos körülmények biztosítására minden tárgyponthoz. [2] , [7]

4. **Elméleti magyarázatát adtam** a gyakorlatban tapasztalt megfigyelésnek, amely szerint az **optikai nagyítás nem változtatja** meg az interferencia csíkok **fázis-helyességét**. Alkalmaztam a **van Cittert-Zernike tételt**, azaz a hullámtérben két pont közti korreláció is úgy terjed, mint a pontokon áthaladó hullámok, így optikai leképezés során a megfelelő képpontokba tartó hullámok közti korreláció ugyanaz marad. **Felismertem** továbbá, hogy a van Cittert-Zernike tételből következik a megfigyelő optikai eszköz felbontási határát meghatározó fókuszfolt és az interferencia csíkok láthatóságát megszabó erős

korrelációs tartomány méretének azonossága, amiből tovább következik, hogy a tárgy elmozdulásának a megfigyelő **optikai eszköz felbontási határa** alatt kell maradni, ez tekinthető a **holografikus interferometri felső korlátjának** [2]

5. **Kísérletekkel bebizonyítottam**, hogy a **konjugált tárgy hullám** használatára épülő holografikus megvilágítású különbségi holografikus interferometria alapelve átültethető az **elektronikus szemcseképes interferometriába** (TV holográfiába) és megvalósítható a holografikus megvilágítású különbségi elektronikus szemcseképes interferometria. [3]

Mérésekkel megmutattam, hogy a mérési körülmények állandósága az összehasonlító szemcseképes interferometriában a holografikus változaténál fontosabb; az optikai elrendezés megkívánt stabilitását elektronikus „**csíkstabilizátor**” alkalmazásával **valósítottam meg**. [4,5]

6. Elvégeztem a különbségi holografikus interferometriában alkalmazott holografikus megvilágítás hibájának analízisét. **Kimunkáltam** a konjugált referencia-hullámokkal rekonstruált holografikus valós kép és a megvilágított tárgy egymáshoz viszonyított helyzetére vonatkozó, gyakorlatban is kontrollálható, a **különbségi elmozdulás-mérés hibájára** vonatkozó **feltételeket**. **Elméletileg kimutattam**, hogy a visszavetítés, illetve a tárgycsere pontossági követelményeit a **mester-, illetve tesztinterferogram legnagyobb térfrekvenciájú** tartománya határozza meg: minél nagyobb itt az interferencia csíkok sűrűsége, annál pontosabb megvilágítást, illetve tárgycserét kell megvalósítani. [6]

## **A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények**

### **Referált folyóiratban**

1 B. Ráczkevi, F. Gyimesi, Sz. Mike – One-wavelength in-plane rotation analysis in electronic speckle pattern interferometry, Optics and Lasers in Engineering, vol. 35, no. 1, p. 33., (2000)

2 B. Ráczkevi, F. Gyímesi, Z. Füzessy – The accuracy of the phase difference formula in holographic interferometry, Optics Communications, no.180,p.225., (2000)

3 Z. Füzessy, F. Gyímesi, B. Ráczkevi, J. Makai, J. Kornis, I. László – Holographic illumination for comparative measurement, Optics Communications, vol.. 132, p.29., (1996)

### **Konferencia kiadványban**

4 Z. Füzessy, F. Gyímesi, B. Ráczkevi, J. Makai, J. Kornis, I. László – Holographic illumination for comparison in interferometry, Optical Inspection and Micromasurements, Besancon, France, C.Gorecki, Editor, vol.2782.,p.296. (1996)

5 F. Gyímesi Z. Füzessy, B. Ráczkevi, J. Makai, J. Kornis, I. László – Comparative interferometric measurements by holographic illumination, Int. Symposium on Laser Applications in Precision Measurements, Balatonfüred, Hungary, Z. Füzessy, W. Jüptner, W. Osten, Editors, p.140. (1996)

6 Z. Füzessy, B. Ráczkevi, F. Gyímesi, V. Borbély: Error factors of comparison in difference holographic interferometry, Proc. of Optical metrology, Laser Munich 2003, SPIE 5144.

7 B. Ráczkevi, F. Gyímesi, Z. Füzessy – A holografikus interferometria mérési pontossága, Kvantumelektronika 2000, Budapest, nov.3., 48. old.(2000)

### **További tudományos közlemények**

#### **Könyvben**

8 F. Gyímesi, Z. Füzessy, B. Ráczkevi – Difference Holographic Interferometry, chapter in „Trends in Optical Nondestructive Testing and Inspection” , P.Rastogi, D.Inaudi, Editors, Elsevier Science B.V., p. 129-140., (2000)

#### **Referált folyóiratban**

9 F. Gyimesi, V. Borbély, B. Ráczkevi and Z. Füzessy – Speckle based photo-stitching in holographic interferometry - for measuring range extension, *Journal of Holography and Speckles*, Vol. 1., Nr. 1., (2004)

### **Konferencia kiadványban**

10 Ráczkevi B., Borbély V., Gyimesi F. és Füzessy Z. – Optikai szűrő holografikus különbségi alakméréshez, *Kvantumelektronika 2003*, P-16 (ISBN 963 372 629 8), Budapest, (2003)

11 Borbély V., Ráczkevi B., Gyimesi F. és Füzessy Z., Kéthullámhosszas holografikus interferometriai alakméréshez utólagos virtuális tárgypozicionálás – a méréshatár háromszoros kiterjesztéséig, *Kvantumelektronika 2003*, P-15 (ISBN 963 372 629 8), Budapest, (2003)

12 F. Gyimesi, V. Borbély, B. Ráczkevi, Z. Füzessy – Csíkok százai elérhetők a holografikus interferometriában, *Kvantumelektronika 2000*, Budapest nov.3. 49.old. (2000)

13 F. Gyimesi, V. Borbély, Sz. Mike, B. Ráczkevi, Z. Füzessy – Beyond the upper limit of holographic interferometry by scanning, *Dennis Gabor Commemorative Conference, Symposium on Holography*, Budapest, Conference CD, Z.Füzessy, Gy.Ákos Editors (2000)

14 B. Ráczkevi, F. Gyimesi, Z. Füzessy – Phase shift of fringes in holographic interferometry at large deformations, *Int.Conf. on Trends in Optical Nondestructive Testing*, Lugano, Switzerland, P.Rastogi, D.Inaudi Editors,p.95. (2000)

15 F. Gyimesi, Z. Füzessy, B. Ráczkevi, Á. Pikéthy, Sz. Balogh, J. Gallai – Beyond the upper limit of holographic and speckle interferometry, *Int. Conf. On Applied Optical Metrology*, Balatonfüred, Hungary, P.K.Rastogi, F.Gyimesi Editors, vol.3407,p.278. (1998)

16 Z. Füzessy, F. Gyimesi, B. Ráczkevi, Á. Pikéthy, Sz. Balogh, J. Gallai – Holographic interferometry up to millimetre region, *Fringe 97*, Bremen, Germany, W.Jüptner, W.Osten Editors, p.282 (1997)