

Posudek doktorské disertační práce

Ing. Pavel Psota:

“Advanced Time-average Digital Holography by Means of Frequency and Phase Modulation”

Úvodem a k aktuálnosti tématu disertační práce

Disertační práce se zabývá zcela zásadní problematikou pro pracoviště doktoranda – Regionálního Centra speciální optiky a optoelektronických systémů, TOPTEC, Ústavu fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. v Turnově, tj. techniky měření deformací a tvarů povrchů optickými metodami využívajícími interference světla. Navrhuje techniky, které pracují s dynamickými jevy, deformacemi způsobenými vibračním namáháním. Metody dimenzionálních měření jsou klíčové jak pro řízení kvality v přesném strojírenství tak i v optické výrobě. Dynamická měření nabízejí další, významný zdroj informací. Z tohoto pohledu je každá práce směřující tímto směrem aktuální a přispívá k rozvoji oboru.

Ke splnění cíle práce

Cíle práce jsou definovány v úvodní stati, jakožto návrh a vývoj metod digitální holografie ve vibrometrii. Snažení je zaměřeno na vylepšení tradiční metody vibrometrie s časovým průměrováním amplitudy vibrací o techniku využívající modulace frekvence, které dnes nabízejí akustooptické modulátory světla s postupnou vlnou. Modulace frekvence a také fáze světelných vln laserového zdroje nabízí možnost posunout techniku digitální holografické vibrometrie na kvalitativně novou úroveň a to rozšířením jak frekvenčního, tak i amplitudového rozsahu měření. Práce řeší téma jak na teoretickém základě, tak ověřením prostřednictvím experimentů, výsledky práce by mohly mít aplikační výstup. Vzhledem k novosti problematiky je z celé práce patrné, že stanovené cíle lze považovat za zdárně splněné.

K postupu řešení zadaného problému a k výsledkům disertace, konkrétní přínos doktoranda

Dizertační práce popisuje fyzikální základy navrhovaného řešení, vychází ze základů holografie a digitální holografie využívající digitalizaci interferogramů plošnými maticovými snímači a numerickou rekonstrukci.

V následující stati je popsána nová metoda využívající frekvenčních modulátorů světla, je popsána teoreticky a jsou analyzovány limity jejího rozlišení, šumové poměry ap. Následuje experimentální část, kde je navrhovaný koncept ověřen na měření vibračních modů piezoelektrického prvku.

Členění práce je do čtyř hlavních kapitol, které respektují postup od teoretických základů po popis navrhované metody až po experimenty a jejich vyhodnocení.

Přínos doktoranda spočívá v metodologii, tj. v návrhu nové metody měření vibrací technikou modulace frekvence (a fáze) optických vln, čímž významným způsobem rozšiřuje možnosti vibrometrie s časovým průměrováním amplitudy vibrací. Tato nová metoda a její experimentální ověření lze považovat za konkrétní přínos doktoranda pro tento vědní obor,

čímž dokládá svou schopnost systematické vědecké práce včetně prezentace jejich výsledků formou vědeckých publikací.

K formální stránce práce

Práce psaná v angličtině má celkem 117 stran a je formálně rozdělena do čtyř kapitol uspořádaných v logickém sledu. Seznam použité literatury je dostatečný k pokrytí studované problematiky. Práce obsahuje i českou a anglickou anotaci a další předepsané formální náležitosti. Seznam obsahuje řadu publikací, v nichž je doktorand spoluautorem a v řadě případů i prvním autorem. Tím dokládá schopnost výsledky své práce na dobré úrovni publikovat. Po jazykové stránce je práce velmi dobře zpracována. Práce je zřetelně vytvořena v typografickém prostředí TeX, čímž je prakticky dokonalá grafická podoba zaručena.

Otázky k obhajobě

- (1) Domníváte se, že by bylo přínosné zvýšení modulační frekvence a modulačního zdvihu u frekvenční modulace laserových svazků pro zvětšení rozsahu metody? Konkrétně, jednofrekvenční a vysoce koherentní polovodičové lasery toto umožňují přímo, bez nutnosti použít akustooptické modulátory (AOM).
- (2) Jak se na metodě projevuje reziduální amplitudová modulace, kterou nelze v případě použití AOM zcela vyloučit? Obdobně, jakou roli hraje neharmonické zkreslení modulační frekvence?

Závěr

Předložená disertační práce věcně i formálně splňuje hlediska obecně uznávaných požadavků na doktorskou disertační práci. Proto **doporučuji přijmout práci** Ing. Pavla Psoty **k obhajobě a po úspěšné obhajobě k udělení akademického titulu Ph.D.**

V Brně 10. prosince 2015



Prof. Ing. Josef Lazar. Dr.
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v.v.i.



Posudek disertační práce Ing. Pavla Psoty

Advanced time average digital holography by means of frequency and phase modulation

Tématem disertační práce je rozvoj metody digitální holografie s časovým středováním. Práce je svojí volbou tématu aktuální. Má praktické aplikace pro bezkontaktní měření vibrací. Takováto měření je sice možné provádět různými metodami, ale tato metoda byla doktorandem rozvinuta tak, že umožní velmi přesné měření, s malou nejistotou řádu 0,1 nm na relativně velké měřené ploše.

Práce je rozdělena na čtyři části. První dvě kapitoly obsahují teoretické informace, potřebné k pochopení problematiky, další dvě kapitoly shrnují autorův přínos k rozvoji měřicí metody.

Práce začíná kvalitní obecnou, teoretickou částí. Úvod do studované problematiky je popsán logicky a věcně. Jsou v něm prezentované fyzikální zákonitosti a poznatky, které jsou sice známe, ale zde jsou popsány na vysoké odborné úrovni a do hloubky. Doktorand vycházel z jejich důkladných znalostí při návrzích rozvoje metody digitální holografie. Bez jejich aktivního používání by doktorand nemohl metodu tak rozvinout. Výtky k této části jsou nepodstatné a je jich málo.

Na str. 17 definice vlnové délky „as a distance between two nearest points with equal phase“ - platí jenom ve speciálních případech.

Na str. 20 „the same polarization direction of the both interfering waves“ – toto tvrzení má vztah pouze k lineární polarizaci, ale i zde stačí k interferenci nenulový průmět jedné polarizace do směru druhé, nebo obecněji, aby polarizace nebyly ortogonální (týká se i obecně eliptické polarizací)

str. 19 „the ellipse become a straight line“ - elipsa nepřejde v přímku, ale v úsečku - line segment

str. 23 „light waves were propagated as rays“ – toto není přesné

Třetí kapitola popisuje použití akusto-optických modulátorů - Braggových cel v digitální holografii. Zde je největší přínos doktoranda. Navržené řešení modulací frekvencí objektové a referenční vlny umožňuje dosažení proměnného fázového rozdílu mezi vlnami. To je velmi výhodně použito při konstrukci a snímání digitálního hologramu. V této kapitole jsou podrobně rozebrány možnosti realizace této metody, možnosti zvýšení jejího rozlišení, zvýšení poměru signálu k šumu. Rozvoj metody vychází z teoretického rozboru, jednotlivé postupy jsou experimentálně ověřeny. Je zde také popsán způsob zvýšení rozsahu měření pomocí modulace referenční vlny násobkem frekvence objektové vlny. Je zde prezentován rozbor chyb. Vše je v této kapitole precizně a do detailu zdokumentováno.

Poslední kapitola se věnuje experimentům, využívajícím tuto metodu. Použití metody DHI k měření rozložení amplitud vibrací transformátorů, využívajících piezoelektrický jev, je velmi přesvědčivé a přináší užitečné výsledky. Porovnání metody s klasickou laserovou interferometrií, soustředující paprsek prakticky jenom do velmi malé oblasti, ukazuje dobrou shodu naměřených amplitud, lišící se méně nežli o 5 %. Poslední experiment přináší sadu velkého počtu měření vibrací zakřivené skleněné desky, využívající piezoelektrických aktuátorů k aktivnímu tlumení vibrací. I ten dává věrohodné závěry.

Disertační práce přináší originální výsledky. Používání Braggových cel v digitální holografii s časovým středováním začalo v laboratoři optických měření na TU v Liberci a bylo rozvinuto právě doktorandem. Nejedná se pouze o originalitu řešení, ale tato metoda byla rozvinuta tak, že má mnohé přednosti oproti doposud používaným metodám. Je jí možné použít na větší měřené plochy oproti klasické interferometrii, dále vykazuje velkou přesností $\lambda/6000$ i velký rozsah měřených amplitud vibrací do 20λ . Je nejenom přesná, ale i rychlá, robustní a uživatelsky přívětivá.

K řešení dílčích cílů byla použita řada metod - teoretický rozbor, sestavení experimentu, experimentální měření, vyhodnocení experimentu. Všechny tyto metody byly správně navrženy, byly spolu propojeny a navazovaly na sebe. Autor práce také navrhl plně automatickou počítačovou metodu určení rozložení amplitud vibrací ze zaznamenaného interferenčního obrazce. Všechny dílčí cíle práce byly splněny, navazují logicky na sebe a směřují ke konkrétnímu výstupu. Celá práce je tak velmi kompaktní a přináší sofistikovanou metodu, která byla ověřena a použita na měření amplitud vibrací.

Z práce je vidět, že autor si studovanou problematiku plně osvojil, a že v tomto oboru aktivně a cílevědomě pracuje delší dobu od své diplomové práce. Umí nejenom řešit aktuální složité vědecké problémy ve svém oboru, ale je schopen si najít i neřešené otázky. Prokazuje syntézu svých experimentálních dovedností, hlubokých teoretických znalostí i počítačového zpracování dat i jejich analýzy. Doktorand svojí prací aktivně přispěl k rozvoji této měřicí metody. O jeho erudovanosti svědčí i uvedený seznam 30 publikací, kde je autorem, nebo spoluautorem.

Předložená práce je po formální stránce velmi kvalitní. Je sepsána slušnou angličtinou, pravopisné chyby a překlepy se téměř nevyskytují. Je vhodně členěna do jednotlivých kapitol. Obsahuje velké množství obrázků, fotografií a grafů, které vhodně doplňují text. Všechny obrázky jsou přehledně a pečlivě provedeny a jsou velmi ilustrativní. Popisky obrázku jsou dostatečné a přesné, odkazy na obrázky jsou správně umístěny v textu. Velké množství složitějších rovnic je vysázeno přesně a pečlivě. Na straně 109 je u hodnoty (1000.0 ± 20.2) nm uvedena chyba na příliš mnoho platných čísel. Anotace je výstižná. Odborná terminologie je používána správně. Seznam literatury je obsáhlý, obsahuje všechny důležité publikace oboru, práce jsou citovány korektně, citace odpovídají normám. Pouze u některých knižních publikací by měla být uvedena další data, jako vydavatel, rok vydání, ISBN, byť se mnohdy jedná o velice známé a často vydávané knihy jako je publikace [57].

Na doktoranda mám tyto dotazy:

Bylo by možné tuto metodu použít v transmisním nebo reflexním uspořádání pro měření amplitud změn indexu lomu, například v prostorových modulátorech světla?

Předložená disertační práce Ing. Pavla Psoty je velmi vysoké kvality. Autor prokázal předpoklady k samostatné vědecké práci. Práce přispívá k rozvoji metody digitální holografie s časovým středováním.

Doporučuji přijetí předložená práce k obhajobě.



doc. RNDr. Miroslav Šulc, PhD.

v Liberci, dne 7.12.2015

