

OPONENTSKÝ POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název práce:	Elektronická interferometrie na bázi koherenční zrnitosti a její aplikace
Diplomant:	Mgr. Ladislav Stanke

Předložená diplomová práce spadá do oblasti aplikované optiky, konkrétně metrologie na bázi koherenční zrnitosti a zabývá se nástroji pro analýzu korelogramů generovaných při měření metodou ESPI, konkrétně skeletonizací a waveletovou (vlnkovou) transformací. Téma práce považuji za vysoce aktuální, neboť v současné době rostou požadavky na přesná bezkontaktní měření deformace předmětu, například v oblasti pružnosti a pevnosti. A právě přesná lokalizace korelačních proužků a jejich změn je klíčovým prvkem pro vyhodnocení požadované měřené veličiny popisující chování zkoumaného předmětu metodou ESPI. Cílem diplomové práce pak bylo najít univerzální techniku pro numerickou analýzu jak běžných interferenčních obrazců tzv. interferogramů, tak koherenční zrnitostí vysoce zašuměných korelačních obrazců tzv. korelogramů. Vytýčený cíl se autorovi podařilo splnit.

Diplomová práce má 105 stran včetně obrázků, tabulek a grafů umístěných v textu. Vedle úvodu a závěru je práce rozdělena do třech hlavních kapitol a dalších podkapitol. Kapitoly i podkapitoly jsou přehledně členěny a logicky na sebe navazují. Práce také obsahuje všechny povinné formální náležitosti a je doplněna o tři přílohy a rejstřík. V seznamu použitých zdrojů je uvedeno celkem 36 citací, z toho 33 časopiseckých či knižních publikací a 3 odkazy na webové stránky komerčních firem.

Po obecném úvodu vymezujícím cíle diplomové práce je první kapitola textu věnována popisu principu měřicí metody elektronické interferometrie na bázi koherenční zrnitosti (ESPI) a dále základním technikám digitálního zpracování obrazu včetně metod pro odstraňování šumu a lokalizaci korelačních proužků u korelogramů, které jsou získány metodou ESPI. Vedle teoretického popisu vzniku těchto korelačních proužků jsou mimo jiné prezentovány některé významné konfigurace měřicích systémů metody ESPI pro stanovení tečných a normálových translací zkoumaného předmětu. Pozornost je rovněž věnována možným limitům této měřicí metody, konkrétně vlivu dekorelace na snížení vizibility korelogramů. V první kapitole je dále popsána vlnková transformace jako účinný nástroj nejen pro potlačení šumu, ale také pro přímou detekci fáze interferenčních, resp. korelačních obrazců. Druhá kapitola práce se již zabývá tvorbou zdrojového kódu pro vlastní detekci korelačních proužků, přičemž jsou zvoleny dva přístupy - skeletonizace a vlnková transformace. Oba algoritmy jsou navrženy v prostředí výpočetního systému MATLAB vybaveného aplikačními knihovnami Image Processing Toolbox a Wavelet Toolbox a jsou uvedeny v příloze diplomové práce. Výsledky analýz korelogramů pomocí výše zmíněných technik pak popisuje třetí kapitola práce. Nejprve jsou analyzovány teoretické korelogramy s přímými a zakřivenými proužky opět vygenerované v programovém prostředí MATLAB. Následně jsou tyto korelogramy zatíženy různou úrovní gaussovského šumu za účelem testování odolnosti navržených algoritmů. Nakonec jsou studovány posuvy fáze ve dvou po sobě zaznamenaných zašuměných korelogramech, a to nejprve teoreticky vygenerovaných s posuvem fáze o $\pi/6$ a poté reálných, které jsou získány v laboratoři metodou ESPI, a které odpovídají vychýlení volného konce jednostranně vetknutého předmětu o 0,1 μm . V závěru diplomové práce je provedeno její zhodnocení.

Podle mého názoru diplomová práce výstižně odráží vše, co si diplomant naplánoval řešit pro zdárné splnění zadaného úkolu. Pokud jde o první část práce (kapitola 1), tato je vypracována stručně a srozumitelně a ukazuje na poměrně dobrou orientaci autora v dané problematice a jeho schopnost provést samostatnou rešerši odborné literatury v anglickém jazyce. Tvůrčí přínos práce však spočívá především v kapitolách 2 a 3, tedy v tvorbě algoritmů navržených pro generaci korelogramů, úpravu korelogramů a detekci a lokalizaci korelačních proužků v korelogramech. Diplomant zde zároveň prokázal dostatek praktických schopností a dovedností při práci se skriptovacím programovacím jazykem MATLAB, který je hojně využíván při přípravě a realizaci experimentů v optické laboratoři. Dále bych rovněž ocenil

autorem úspěšně provedenou modifikaci navrženého programu pro lokalizaci korelačních proužků u reálných korelogramů získaných z laboratoře, kdy bylo nutné, kvůli nízké vizibilitě proužků, převést dvojdimenzionální obraz na jednodimenzionální.

Po formální stránce je diplomová práce na velmi dobré úrovni. Chvályhodné je, že se v ní vyskytuje jen nepatrné množství překlepů, a že na odpovídajících místech textu autor správně cituje zdrojové publikace. Je nutné také vyzdvihnout grafickou podobu předložené práce. Čtenář především ocení množství obrázků a grafických výstupů, které vedou ke snadnější orientaci v textu a pochopení řešené problematiky. Diplomantovi bych nicméně určité formální nedostatky vytknul. Obrázky Obr. 1-4 prezentované v první části práce (kapitola 1) jsou oskenované a navíc obsahují anglické popisky, což dle mého názoru, zbytečně snižuje velmi příznivý dojem z diplomové práce psané v českém jazyce. Tyto obrázky mohly být autorem překresleny a popisky přeloženy. Rád bych rovněž diplomanta upozornil, že číselné hodnoty na souřadných osách jsou u několika grafů tak malé velikosti, že jsou pro čtenáře na hranici rozlišitelnosti (např. Obr. 92-94). U některých grafů také chybí označení souřadných os či popisky veličin, které tyto osy reprezentují (např. Obr. 15-17). Ve výčtu formálních nedostatků musím ještě uvést, že v seznamu použitých zdrojů nejsou u všech časopiseckých publikací uvedena čísla stránek (viz [5], [6], [28]). Dále se domnívám, že číselné odkazy na použité zdroje by měly být v textu uspořádány sekvenčně, tedy v pořadí v jakém jsou v textu práce poprvé uvedeny. V seznamu použitých zdrojů jsou pak tyto uspořádány dle abecedy, což působí nejednotně a může být pro čtenáře trochu nepřehledné. Poslední výtku se týká absence jednotného zápisu exponenciální funkce, například v rovnicích (29) a (56).

K věcné stránce práce mám pouze několik drobných připomínek. Například na str. 12 v podkapitole 1.1 je v textu uveden neúplný a nedostatečně vysvětlující popis k Obr. 1. Autor zde konkrétně uvádí větu „*Předmět je zobrazen společně s referenčním svazkem na televizní kameru, kterou je zaznamenán výsledný interferogram s typickou zrnitou strukturou*“. Tento popis by měl být pro čtenáře proveden srozumitelněji. Dále na str. 37 v rovnici (56) v podkapitole 2.3 chybí vysvětlení významu veličiny ω a následně není jasné jakou konkrétní číselnou hodnotu veličiny ω diplomant použil při výpočtu konvenční a modifikované varianty komplexního Morletova mateřského waveletu (viz Obr. 7 a Obr. 8). Na str. 76 v podkapitole 3.3 autor uvádí, že „*analýza korelogramů získaných metou ESPI slouží pro měření translace, rotace a deformace předmětu*“, na tomto místě by měl ale přesněji zapsat „*pro měření deformace předmětu*“, neboť složky translace a rotace obecně zahrnujeme do deformace. Konečně na str. 82 v podkapitole 3.4 by mělo být uvedeno, že „*celý proces se opakuje pro oba korelogramy – před a po vychýlení předmětu*“ a nikoliv „*posunutí předmětu*“.

K obhajobě samotné mám následující dotazy. V kapitole 3.1 (str. 43) a v kapitole 3.2 (str. 59) autor prezentuje konkrétní cykly pro generaci korelogramů s přímými a zakřivenými proužky. U těchto zdrojových kódů chybí citace, autor je tedy vymyslel sám? Na str. 82 (kapitola 3.4) diplomant uvádí, že po aplikaci vlnkové transformace na reálný korelogram odpovídá změna fáze o 2π přechodu od jednoho tmavého proužku k následujícímu, a že při porovnání výsledné hodnoty fáze s teoreticky vypočtenou změnou fáze je nutné teoretickou hodnotu násobit faktorem 2. Jelikož není nikde v práci zmíněno, jak se teoretická hodnota fáze vypočítá, není ani zřejmé, proč je nutné ji násobit faktorem 2. Bylo by proto vhodné, aby tato skutečnost byla více objasněna. Na str. 86 (Obr. 95) v kapitole 3.4 je ukázán výsledek detekce rozdílu fází reálných korelogramů z laboratoře s teoreticky vypočtenými hodnotami. V práci se uvádí, že vlnková transformace nefunguje optimálně v krajních oblastech korelogramu. Mohl by diplomant vysvětlit, proč se výsledky liší pouze na jednom okraji průběhu fáze (v pravé části grafu Obr. 95)?

Jelikož diplomová práce, i přes uvedené drobné připomínky, splňuje formální i věcné požadavky a je na vysoké odborné úrovni, doporučuji ji k obhajobě a po úspěšném průběhu obhajoby navrhuji hodnocení

v ý b o r n ě

V Olomouci dne 17. 5. 2013

RNDr. Pavel Horváth, Ph.D.