

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Holografický mikroskop</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Bc. Ondřej Včelák</b>
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta strojní (FS)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ústav přístrojové a řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Petr Lobaz, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	IQS Nanoptiqs, s.r.o., Hlavní 130, 250 68 Husinec-Řež

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Digitální holografie je specifická tím, že vyžaduje dobré znalosti difrakční optiky, zpracování signálu, programování a numerické matematiky; samozřejmostí je dobrá orientace v obecné optice. Pokud student neovládá všechny jmenované disciplíny, je v podstatě vyloučeno, aby se během jednoho roku dostal na potřebnou úroveň a zvládl splnit zadání zcela samostatně. Bohužel, není mnoho lidí s dostatečnými znalostmi všech jmenovaných disciplín současně, čili i možnost poradit se s někým nezávislým je dosti omezená.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s menšími výhradami</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Všechny body zadání byly splněny. U rešerše metod digitální holografie je pro začátečníka dost obtížné, aby během krátké doby načerpal dostatečné znalosti a byl schopen odlišit důležité od méně důležitého. Také není možné předpokládat, že čtenář práce bude odborníkem na digitální holografii; proto je nutné v teoretickém úvodu nejprve ozřejmit základní principy. Pak ale není možné předpokládat, že student na omezeném počtu stran předloží solidní vhled do problematiky, na něž bude navazovat důkladná rešerše metod digitální holografie. Z mého pohledu je rešerše metod digitální holografie a holografických mikroskopů poměrně stručná a základní, ale v rámci možností ani nelze čekat víc. Nejvíc asi postrádám stručný přehled nevýhod digitální holografie a přehled alternativních metod. Největší výhrady mám k testům funkčnosti mikroskopu. Jak je v zadání uvedeno, je primární aplikací zobrazování biologických vzorků (embryí), tj. převážně průhledných (fázových) vzorků. Veškeré testování, pokud jsem textu porozuměl, ale probíhalo s neprůhlednými vzorky. Student dále kvalitu mikroskopu posuzuje jen prostřednictvím rozlišení, ale už se nevěnuje kontrastu – a to je v mikroskopii neméně důležitý parametr, zejména u fázových vzorků. Také bych očekával vyjádření odborníků na sledování růstu embrya, zda vidí současnou kvalitu mikroskopu pro danou aplikaci spíš optimisticky, nebo pesimisticky.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
K postupu řešení nemám výhrady. To myslím odpovídá klasifikaci „správný“. Pro klasifikaci „vynikající“ bych očekával nějakou netradiční, ale vhodnou myšlenku.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Hodnotím stupněm „A“, protože v rámci možností asi nešlo nic významně lepšího očekávat. Se studentem jsem měl možnost hovořit cca před rokem; tehdy o digitální holografii pochopitelně nevěděl téměř nic. Během jednoho roku se jeho úroveň poznání významně zvýšila a o jeho rámcové odborné připravenosti do praxe nemám pochybnosti.	

## Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

## D - uspokojivě

*Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.*

Student se při psaní textu potýkal především s problémem, jak na omezeném počtu stran vysvětlit běžnému optikovi, resp. studentovi optiky, podstatu digitální holografie. Z vlastní zkušenosti vím, že to nejde, resp. že ke stručnému a kvalitnímu výkladu je zapotřebí mnohem, mnohem větší vhlad do problematiky, než lze reálně očekávat. Při hodnocení jazykové úrovně textu je nutné primárně hodnotit jeho srozumitelnost s přihlédnutím k předpokládanému čtenáři, a ta je z podstaty věci omezená. Pro odborníka je většina textu opakováním, které nepotřebuje, a pro neoborníka je, myslím, text obtížně stravitelný.

I s přihlédnutím k výše uvedenému se student dopustil různých přehmatů. Lze obtížně odlišit, zda šlo o neznalost či vyjadřovací neobratnost či „technický překlep“; přikláním se k domněnce, že jde spíše o nedůslednost než neznalost.

Například:

- Na straně 11 bych očekával alespoň zmínku o metodách konvenční fázové mikroskopie.
- Vzorec (4) je bez zmínky, že jde o fázorové veličiny, zcela nesrozumitelný; připomínku je třeba chápat v kontextu okolního textu.
- Není zřejmé, proč je ve vzorci (6) vzdálenost  $L$ . Pokud by rostla nade všechny meze, tj. z kulové vlny by se stala vlna rovinná, plynulo by z vzorců (9), (10), že mikroskop nedokáže nic zobrazit. To zjevně není pravda.
- Ve vzorci (7) vypadl oproti (5) index lomu.
- Není zřejmé, proč je ve vzorci (8) symbol aproximace.
- Není ani naznačeno, co je symbol  $B$  v obrázku 7(b). Z kontextu se navíc domnívám, že jde o frekvenční oddělení, nikoliv primárně prostorové, jak text naznačuje.
- Symbol  $u(r, t)$  na straně 26 není amplituda.
- Velikost pixelu a vzorkovací perioda není totéž, viz str. 38.
- Vzorec (95) je buď špatně zapsaný, nebo špatně vysvětlený. Při vhodně zvolené konstantě  $c$  může být frekvence  $f_a$  libovolně velká, přitom může nabývat maximálně hodnoty  $f_s/2$ .
- Na straně 40 se pracuje s nevysvětleným pojmem „lokální frekvence“.
- Na začátku kapitoly 3.5.2 je nevhodně použit zápis diskretního signálu „ $b[p-m, q-n]$ “. Tatáž symbolika ve vzorci (99) je ale samozřejmě správně.
- Na straně 45 bych očekával alespoň zmínku o potížích rozbalování fáze ve 2-D.
- V kapitole 4.4 postrádám bližší popis laserového modulu, nebo alespoň obrázek, cenu apod. Pod pojmem „běžný laserový modul“ si lze představit cokoli od čínského modulu za 1 USD až po 100× dražší „nespecifické“ moduly běžné v optice, např. od Thorlabs. Je ale pravda, že z rozměrů modulu lze něco odhadnout.
- Na straně 57 student bez podrobností uvádí, že CGDH Tools poskytovaly nejlepší výsledky. Jako autora CGDH Tools mě samozřejmě velmi zajímají podrobnosti, ale i ostatní čtenáře by mohlo zajímat, na co si mají při případném výběru nástrojů digitální holografie dávat pozor.
- Na straně 64 se dovozuje, že čím blíže je vzorek ke kameře, tím lépe. Tím vzniká logická otázka, proč je v dosavadním textu vzorek umístěn od kamery tak daleko; text se otázkou ale explicitně nezabývá.
- Úsměvně působí uvedení doktora Hlinky na straně 65, aniž by bylo řečeno, kdo to je a proč je zmiňován.
- V popisích obrázků 33–36 není zřejmé, zda jde o vzorek „nasucho“.
- Vzorec (118) je pouze přibližný. Oprávněnost aproximace není zřejmá.

Zásadní výhrady mám k přílohám:

- U 3-D modelů není žádný popis, bez vysvětlení je vložena složka OldVersions, mezi soubory se nacházejí lockfiles atd. Příloha nepůsobí dojmem pečlivě odvedené práce.
- Chybí popis hologramů a rekonstrukcí, zejména v jaké sestavě byly hologramy nasnímány. Bez toho je obtížné hologramy kvalitně rekonstruovat.
- U rekonstrukce 1\_reconstruction50,40mm.png je zřejmé, že nebyla vytvořena odevzdanou verzí programu, viz vliv chybějící apodizace. Když už apodizaci student v textu zmiňuje, bylo by vhodné na to upozornit.

Stylistika textu je spíše neobratná, ale to považuji za nevýznamný problém. Od odborníka očekávám zejména správný a srozumitelný text; se stylistikou může případně pomoci zkušený korektor, s věcnou náplní nikoliv. Typografická úprava je přiměřená typu textu.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**C - dobře**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

K formálním náležitostem nemám připomínky. Dále viz poznámky u závěrečného hodnocení.

**Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Teoretické výsledky se od práce neočekávaly. Provedené teoretické analýzy jsou poměrně základní. Očekával bych, že student např. využije možnost simulace holografického mikroskopu pomocí CGDH Tools a teoretický rozbor jím významně obohatí. Zejména bych očekával analýzu vlivu různých vzdáleností v optické sestavě a srovnání s realitou.

Odevzdaný program je jen základní a je patrné, že student nemá s programováním větší zkušenosti. Vzhledem k oboru studia to nepovažuji za problém.

Kvalitu navržených dílů nejsem schopen posoudit, ale na první pohled jde o běžné konstrukční řešení.

**III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Shodou okolností jsem byl při zahájení práce na holografickém mikroskopu, tehdy ještě tuším bez Bc. Včeláka. První pokusy s He-Ne laserem proběhly úspěšně, s čistou laserovou diodou ne. Tuto skutečnost, tj. že Bc. Včelák nezačínal úplně z nuly, v textu postrádám; nepovažuji to za úmysl, spíš jde o opomenutí a obtížné rozhodování, co ještě patří do běžné laboratorní praxe a co do obsahu diplomové práce. V každém případě to vrhá práci do jiného světla.

Za větší slabinu proto považuji, že od té doby nevidím zásadní pokrok, nepočítám-li celkem přímočarou konstrukci vertikální sestavy a zapojení laserového modulu kombinovaného s dírkovou clonou. Oceňuji, že se Bc. Včelák dokázal vypořádat s nástrahami digitální holografie a že se dostal do fáze, kdy je schopen s digitální holografií skutečně pracovat na úrovni základních principů. Od diplomové (magisterské) práce bych ale přeci jen očekával větší přínos.

1. Při prvních pokusech s holografickým mikroskopem se nedařilo úspěšně rekonstruovat hologramy pořízené čistou červenou laserovou diodou (základní typ za cca 100 Kč). Proběhly v tomto směru další experimenty, nebo jste rovnou přešel na kolimovaný svazek kombinovaný s dírkovou clonou? Jsou za volbou barvy a výkonu laseru, dírkové clony apod. nějaké úvahy, nebo jde o pokus, který náhodou vyšel?
2. Některé ukázkové hologramy, např. 2\_100mm.tiff, jsou silně přexponované. Hodnotil jste nějak vliv expozice na rekonstrukci?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 21.6.2022

Podpis: