

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Vývoj pyramidového sensoru vlnoplochy pro aplikaci v laserové technice
Jméno autora:	Bc. Ondřej Foršt
Typ práce:	diplomová práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra laserové fyziky a fotoniky
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pilař, PhD.
Pracoviště vedoucího práce:	Centrum HiLASE, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Za Radnicí 828, 252 41, Dolní Břežany

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání a motivace k jeho vypsání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce a krátké průvodní slovo k motivaci pro zadání práce.</i>	
<p>Pro účely charakterizace optických komponent je někdy využíváno metrologie jejich povrchu za použití interferometrů či interferometrických technik. Pro tyto účely je možné sestavit interferometr a analýzou jeho signálu získat tvar měřeného povrchu. Výhodou takového měření je jednoduchost experimentálního uspořádání a dobré prostorové rozlišení. Nevýhodou je nejednoznačnost signálu, možná nutnost několikanásobného měření k získání ortogonálních profilů měřeného prvku a nepřesnosti měření vlivem aberací referenční větve. Často se proto k vlastnímu měření povrchů optických komponent používá spíše komerčních sensorů vlnoplochy. Tyto se vyznačují jednodušším nastavením, rychlejším a jednoznačnějším měřením, na druhou stranu však také výrazně vyšší cenou a často omezeným prostorovým rozlišením. Pro účely metrologie ziskového prostředí ve formě tenkých disků proto bylo v minulosti na Hilase používáno interferometru i několika typů sensoru vlnoplochy. Pyramidový sensor vlnoplochy, jež je předmětem hodnocené diplomové práce, není v současnosti k dostání komerčně a jeho použití v oblasti laserové techniky je sporadické. V porovnání s ostatními alternativami však nabízí možnost vysokého prostorového rozlišení a jako takový skýtá značný potenciál pro účely optické metrologie.</p>	

Splnění zadání	splněno
<i>Posudte, 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>	
<p>Předložená práce splňuje zadání ve své minimální podobě. Ve své podstatě byly všechny body zadání splněny a jejich dílčí výsledky jsou v práci jasně deklarovány. Všechny tyto dílčí výsledky se měly spojit při plnění posledního bodu zadání – demonstrace funkce sensoru při jeho srovnání s komerčním zařízením. I tento bod zadání považuji ve své podstatě za splněný, avšak nutnost další analýzy naměřených dat a pochopení nesrovnalostí v nich obsažených je evidentní. Z časových důvodů bohužel již nebylo možné tyto výsledky dále zkoumat a využít jich pro tolik potřebné zlepšení funkce sensoru a zpřesnění jeho měření. Pro účely demonstrace funkce sensoru, a tedy splnění zadání, považuji výsledky za dostatečné. Pro účely využití sensoru pro měření optických komponent jsou však výsledky ještě nedokonalé a bylo by potřeba sensor a analýzu jeho signálu ještě výrazně vylepšit.</p>	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	Zvolte položku.
<i>Posudte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posudte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.</i>	
<p>Cílem práce bylo vyvinout funkční pyramidový sensor vlnoplochy, k čemuž bylo stanoveno několik dílčích kroků. Zejména šlo o vytvoření numerického modelu sensoru ke generaci signálu pro jeho interpretaci a návrh experimentálního uspořádání. Student se tématu věnoval již během svého výzkumného úkolu a i díky tomuto času navíc, který tématu věnoval, byl nakonec schopen jednotlivé body zadání dokončit. Student měl za úkol</p>	

věnovat se třem oblastem aktivit tak, aby první kroky zadání plnil paralelně a dopracoval se brzy k hlavnímu problému – analýze signálu sensoru a jeho zpracování. Student plnil jednotlivé úkoly spíše nárazově nežli postupnou prací a na hodnocení výsledků či výstupů jednotlivých stadií vývoje sensoru (bodů zadání) se to podepsalo tak, že bylo prováděno ve spěchu a s nedostatečnou pečlivostí. V důsledku tohoto přístupu student dospěl do situace, kdy měl demonstrovat funkci sensoru, avšak interpretace dat ze sensoru se mu nedařila. V posledním semestru však student změnil svůj přístup a díky své průběžné a usilovné aktivitě se mu podařilo dokončit numerický model sensoru a použít jej k optimalizaci analýzy jeho signálu. Díky tomu bylo možné upravit návrh sensoru a analýzu jeho signálu tak, aby generoval očekávané výsledky ve formě měřené vlnoplochy.

Ačkoliv jsem si vědom značné složitosti tématu diplomové práce (zejména svou mezioborovou povahou), očekával jsem od studenta obecně větší míru samostatnosti a autonomie při plnění jednotlivých dílčích úkolů. Tento aspekt jsem pociťoval zejména pokud šlo o ověřování správnosti výsledků simulací, kdy student běžně prezentoval výsledky, jež postrádaly robustnost či dostatečnou opakovatelnost. Malou změnou jednoho parametru či úrovně vzorkování tak docházelo k zásadním kvalitativním změnám výsledků.

Během konečné analýzy výsledků při závěrečném sepisování práce potom již student projevil větší míru samostatnosti, když při zpracovávání některých výsledků sám vyvodil přesvědčivé závěry. Cením například části 5.1 a grafu 5.4, který student vypracoval sám a dospěl tak k velice jasně definovaným výsledkům.

Odborná úroveň

Zvolte položku.

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Po odborné stránce považuji předloženou práci za zdařilou a jako taková určitě může posloužit i dalším studentům v oboru jako předloha pro návrh či úpravu pyramidového sensoru vlnoplochy. Student uvádí základní pojmy teorie relevantní pro simulaci optických systémů a jejich vlivu na vlnoplochu procházející optické vlny. V kontextu problému měření vlnoplochy je v dostatečné míře ideově přiblížen návrh pyramidového sensoru. Vyvinuté numerické modely jsou dobře popsány a jejich výsledky přesvědčivě prezentovány. V praktické části je nejprve zdokumentován experiment měření vlnoplochy, ale naměřené výsledky jsou prezentovány především jako výčet hodnot. Pokud by na tuto část zbývalo více času, bylo by vhodné se věnovat i kvalitativní analýze měření a prezentovat důkladnější diskusi výsledků.

Formální a jazyková úroveň

Zvolte položku.

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

Formální i jazykovou stránku práce považuji za dostatečně přesnou a adekvátní práci daného rozsahu. Kapitoly jsou řazeny logicky a text je dostatečně přehledný s minimem pravopisných chyb.

Výběr zdrojů, korektnost citací

Zvolte položku.

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.

Student si byl schopen při svém studiu problematiky vyhledávat vlastní zdroje ve vědeckých publikacích a v pramenech dostupných online. Ve své práci uvádí student 38 zdrojů, přičemž se jedná o rozumný mix vědeckých knih, článků a technických textů relevantních pro konkrétní zařízení. Pro administraci zdrojů byl patrně užít RMS (Reference Management Software), který do značné míry moderuje nadměrné užívání referencí, či nekvalitních zdrojů. V textu jsou všechny zdroje názorně uvedeny, když podkládají uváděná tvrzení.

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.

V rámci diplomové práce byl vyvinut sensor vlnoplochy využívající pyramidového prvku. Tento sensor má potenciál významného prostorového rozlišení, které je srovnatelné s maximálními hodnotami současných komerčně dostupných sensorů a jako takový je vhodný pro použití v metrologii optických komponent. Pro spolehlivé použití takového sensoru by však bylo ještě potřeba demonstrovat jeho správnou funkci pro širokou škálu detekovaných aberací s robustní opakovatelností. Pro plné využití potenciálu jeho prostorového rozlišení by navíc bylo zapotřebí upravit rekonstrukční algoritmus tak, aby využíval zonální rekonstrukce. Toto v rámci diplomové práce nebylo řešeno. Na druhou stranu vyvinuté numerické modely skýtají vhodné prostředí pro návrh a simulaci pyramidového sensoru a jako takové mohou být cenným nástrojem pro další práci v této oblasti. Opakovatelnost a robustnost jejich výstupů byla demonstrována i v rámci předložené diplomové práce.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Předložená práce se věnuje tématu vývoji pyramidového sensoru vlnoplochy pro použití v oblasti laserové techniky. Dříve byl tento typ sensoru používán především v astronomii, kde vynikal zejména svým velikým prostorovým rozlišením. Pro jeho použití ve spojitosti s laserovým svazkem je nutná jeho vhodná modulace. V rámci diplomové práce bylo úkolem studenta provést rešerši vhodných druhů modulace a připravit vhodné numerické modely simulující tyto modulované sensory. Toto je zpracováno v částech 2, 3 a 4. část 5 se zabývá výstupy vyvinutých numerických modelů, což byly signály generované na kameře sensoru pro různé typy aberací. Tyto signály bylo zapotřebí vhodně interpretovat a rekonstruovat z nich detekovanou vlnoplochu. V části 6 bylo již přikročeno k praktickému návrhu sensoru a jeho experimentální realizaci. Signály ze sensoru byly analyzovány dříve vyvinutými algoritmy a byla tak zpětně rekonstruována vlnoplocha svazku. Poslední částí práce je shrnutí ve formě poměrně rozsáhlé diskuze a závěru. Odevzdanou práci hodnotím jako kvalitní po formální i odborné stránce. Při rozhodování o celkovém hodnocení práce jsem bral v úvahu úroveň nasazení studenta, která nebyla zejména v prvním semestru dostatečná. Uvažoval jsem i skutečnost, že student se s tématem již seznámil během práce na výzkumném úkolu a měl tak dobré startovní podmínky pro kvalitní zpracování problému. Plně spokojen nejsem ani s mírou samostatnosti, kterou student projevoval a v důsledku čehož bylo nutné jeho práci často kontrolovat a motivovat ho k dokončování jednotlivých dílčích úkolů. Pozitivně ale hodnotím celkový trend nasazení, kdy postupně student svůj přístup revidoval a především v posledních měsících a týdnech již projevoval dostatečný zájem o téma, což se příznivě projevilo i na míře jeho samostatnosti. Věřím, že pokud by k tomuto obratu došlo dříve, mohla by být práce dopracována důkladněji a konečné výsledky by mohly být zpracovány obsáhleji. Z důvodů výše popsaných navrhuji tedy hodnotit předloženou práci stupněm C – dobře.

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

Datum: 27.5.2024

Podpis:

