

Oponentský posudek disertační práce Mgr. Martina Paúra

Characterization of external degrees of freedom of light and optical metrology

Předložená disertační práce pana Mgr. Martina Paúra je zaměřena na studium moderních technik a vědeckých aplikací v oblasti optického rozlišení jednoho nebo dvou bodových zdrojů a mechanismem samoobnovení u optických polí.

Cíle a struktura práce jsou podrobněji popsány v kapitole 1. Kapitola 2 se zabývá stavem poznání v oblastech zaměření disertační práce. V kapitole 3 najdeme přehledný popis teoretického formalismu a experimentálních nástrojů, které jsou zásadní v prezentovaném výzkumu. Kapitoly 4 – 8 obsahují původní výsledky a jsou založeny na publikacích doktoranda. Spojujícím článkem je zejména přístup založený na využití Fisherovy informační teorie a jejích kvantových analogií pro překonání klasických limitů rozlišení.

Kapitola 4 „Achieving the ultimate optical resolution“ na základě Fisherovy informační teorie a teorie statistického odhadu teoreticky odvozuje a s využitím digitální holografie experimentálně ověřuje techniku, která překonává tradiční přístupy pro rozlišení zobrazení dvou blízkých nekoherentních bodových zdrojů. Využívá přitom projekce na odvozené optimální funkce. Interpretace výsledků ukazuje, že difrakční limit je omezením pouze v případě tradičních zobrazovacích přístupů, které nevyužívají fázové informace. Výsledky byly opublikovány v časopise Optica, doktorand je prvním autorem článku. **Kapitola 5** „Tempering Rayleigh’s curse with PSF shaping“ se rovněž zabývá zobrazením dvojice nekoherentních bodových zdrojů z pohledu přímé intenzitní detekce. Nalézá třídu PSF, které lze vytvořit z „rozumných“ symetrických PSF pomocí fázového signum filtru aplikovaného například ve fourierovské rovině 4f koherentního procesoru. Tato třída PSF obsahující informačně bohatou oblast nulové intenzity vede na lineární pokles Fisherovy informace o separaci bodů v závislosti na této separaci. Jde o zásadní rozdíl od poklesu kvadratického při tradičním zobrazovacím přístupu (tzv. Rayleighovo prokletí). Metoda je ověřena experimentálně a výsledky byly opublikovány v časopise Optica, doktorand je prvním autorem článku. **Kapitola 6** „Reading out Fisher information from the zeros of the point spread function“ se zabývá obecně využitím zmíněných informačně bohatých oblastí nulové intenzity v odezvě optické soustavy pro dosažení superrozlišení. Ukazuje teoreticky, že v jakémkoli optickém systému s odezvou tohoto typu má informace o separaci dvou nekoherentních bodových zdrojů lineární závislost na malé separaci. Tato skutečnost je experimentálně potvrzena dosažením superrozlišení spektrálních dubletů. Výsledky byly opublikovány v časopise Optics Letters, doktorand je prvním autorem článku. **Kapitola 7** „Intensity-Based Axial Localization at the Quantum Limit“ je zaměřena na překonání klasického limitu axiální lokalizace bodového zdroje při intenzitní detekci. Kapitola odvozuje fundamentální limity pro přesnost této lokalizace. Limitu lze pro gaussovské svazky a za určitých dalších předpokladů dosáhnout jediným intenzitním skenem. Teorie je ověřena experimentálně dosažením axiálního rozlišení o 3 řády pod klasickým limitem rozlišení. Výsledky byly opublikovány v časopise Physical Review Letters, doktorand je druhým autorem článku. **Kapitola 8** „Unraveling beam self-healing“ rozšiřuje koncept samoobnovení na širší třídu svazků. Teoretické úvahy jsou ověřeny experimentálně měřením intenzity a tvaru vlnoplochy gaussovských svazků. Výsledky jsou publikovány v časopisu Optics Express, doktorand je třetím autorem publikace. Kapitola 9 shrnuje hlavní výsledky práce.

Práce přináší zcela zásadní výsledky a nové pohledy v oblasti rozlišovací schopnosti zobrazovacího systému, které umožňují zásadně přehodnotit klasický pohled na limity rozlišení. Teoretické úvahy jsou stručně a výstižně formulované, vedou k impresivním závěrům a jsou ve všech případech doplněné přesvědčivými pilotními experimenty. Lze předpokládat, že navržené přístupy budou mít dalekosáhlé a významné uplatnění v praxi, zejména v oblasti zobrazovacích systémů všeho druhu.

Po formální stránce je práce formulována vysoce logicky, přehledně a srozumitelně. Text publikovaných a řádně ocitovaných článků převádí do podoby jediné publikace, přičemž kapitoly na sebe přirozeně navazují, když je to možné. Graficky je práce vynikající, použitý anglický jazyk je na výborné úrovni, překlepů je „nutné“ minimum a jsou paradoxně takřka všechny v českém textu (vyznačeny v papírové práci).

Lze shrnout, že Mgr. Paúr svou disertační prací dosáhl původních vědecky vysoce aktuálních výsledků, které významně rozšiřují oblast poznání a mají značný aplikační potenciál – to vše v mezinárodním měřítku. Výsledky byly publikovány v 5 článcích (z toho tři jsou prvoautorské publikace doktoranda) ve špičkových mezinárodních časopisech. Celkem Web of Science eviduje 10 publikací doktoranda 179x citovaných (bez autocitací), což svědčí o jejich výborném mezinárodním ohlasu a vede k hodnotě 6 h-indexu doktoranda.

V případné diskusi by mne zajímalo, zda již existuje představa praktického rozšíření navržených přístupů pro dvojrozměrné PSF? Jaká by mohla být strategie pro zobrazování (rekonstrukci zobrazení) komplexních dvojrozměrných struktur pomocí navržených přístupů?

Závěrem shrnuji, že Mgr. Paúr **prokázal schopnost samostatné vědecké práce na vynikající úrovni**, jeho práce nesporně **splňuje požadavky kladené na disertační práci** a výsledky práce se staly podkladem publikací ve vysoce kvalitních časopisech. Proto **doporučuji práci přijmout k obhajobě** a v případě úspěšné obhajoby udělit panu Mgr. Martinu Paúrovi titul Ph.D.

V Brně dne 22. února 2021



Prof. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D.