

Super-resolution digitální holografie metodou lab-on-chip

Marek Mach <marek.mach@tul.cz>, Pavel Psota, Pavel Mokrý

Tento příspěvek se zabývá využitím holografické zobrazovací techniky metodou lab-on-chip. Interakce vlny dopadající na vzorek a vlny difraktující se od vzorku tvoří difrakční pole dle Lorenz-Mie-Debyeovy teorie. Digitálním záznamem této interakce je hologram, ze kterého lze zrekonstruovat amplitudové i fázové pole. Metoda se vyznačuje svou jednoduchostí a kompaktností. S využitím metody lze vytvořit kvalitní měřicí systém dosahující submikronového rozlišení v širokém zorném poli bez nutnosti využití složitých optických soustav. Měřicí systém tedy může mít malý rozměr a nízkou hmotnost. Tyto vlastnosti umožňují velké snížení ceny v porovnání s metodami, které využívají optických elementů, a tvorbu přenosného zařízení využitelného i mimo specializované laboratoře.

Klíčová slova: lab-on-chip, vysoké rozlišení, holografie, amplitudové a fázové objekty

Úvod

Technologie lab-on-chip v posledních letech vzkvétá na poli zobrazovacích metod s širokým uplatněním především při zkoumání biologických vzorků, mezi které patří typicky různé typy buněk a jejich stavy. Těmito typy vzorků se zabývají především biologické laboratoře, ale také odvětví medicíny, např. patologická oddělení, kde jako standardní analytický nástroj slouží optická mikroskopie. Optický mikroskop je pro tyto typy měření standardem, jenž umožňuje barevnou analýzu a má dostatečným rozlišením. Nevýhodami jsou však vysoká pořizovací cena, rozměr a hmotnost, které jsou přímým důsledkem využití optických elementů. Optické mikroskopy jsou taktéž necitlivé na fázi osvětlovací vlny a poskytují kvantifikovanou informaci pouze v laterálním směru. Tyto problémy dokáží eliminovat přístroje s technologií lab-on-chip, které mohou být kompaktní, levné a přenosné, tedy s rozměry v řádu centimetrů a hmotností v řádu desítek gramů. [1,2] V současné době se lab-on-chip technologie zaměřuje především na biologické aplikace, které jsou charakteristické určitým amplitudovým charakterem vzorků.

Cílem práce je vytvořit zobrazovací přístroj využívající principu holografie měřicího s vysokým rozlišením užitím technologie lab-on-chip. Měřicí aparatura bude dále optimalizována k využití při výzkumu feroelektrických doménových struktur. Tento příspěvek představuje základní princip, experimentální uspořádání a prvotní výsledky lab-on-chip digitální holografie.

Metodika

Lab-on-chip je holografická transmisní metoda s in-line konfigurací. Záznam hologramu h , vznikajícího interferencí pole objektové a referenční vlny popisuje rovnice (1)[3]:

$$h \approx |U_o + U_r|^2 = |U_o|^2 + |U_r|^2 + U_o U_r^* + U_o^* U_r \quad (1)$$

V digitální holografii (DH) se rekonstrukce provádí zpětnou numerickou propagací pole. Jedním z přístupů rekonstrukce pole je metoda prostorové propagace angulárního spektra s výpočtem založeném na Fourierově transformaci, viz rovnice (2), [4]:

$$U_{rec}(\xi) = \frac{1}{i\lambda z} \mathcal{F}^{-1}[\mathcal{F}\{U(x)\}H(u)]. \quad (2)$$

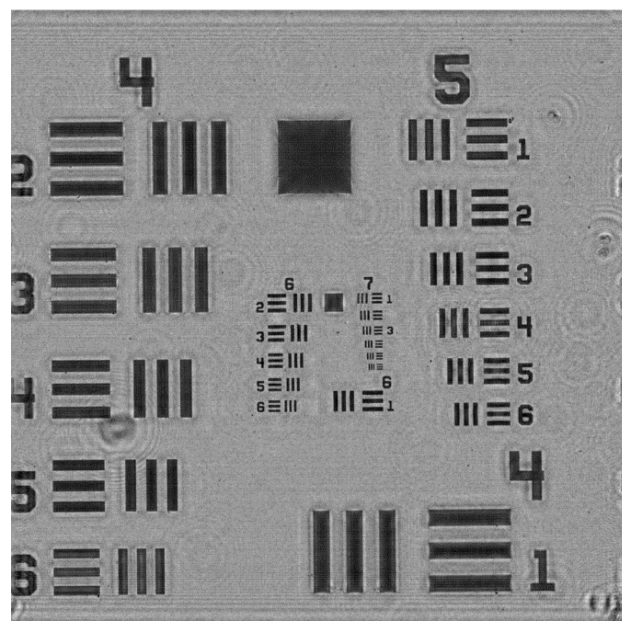
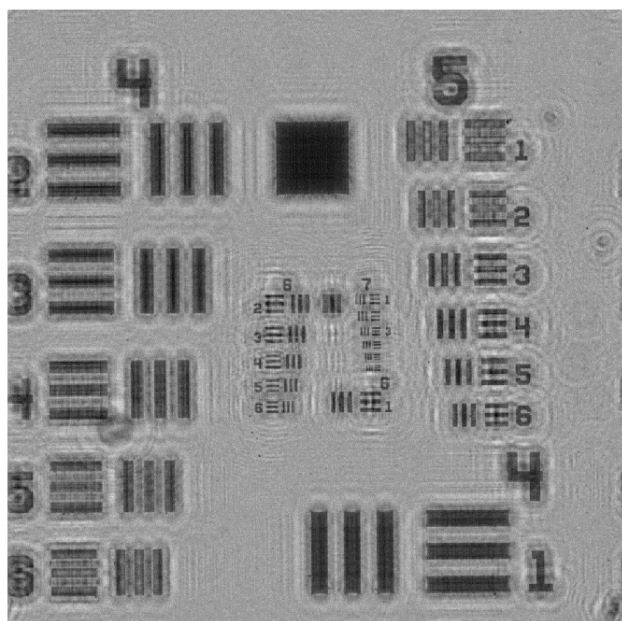
Obraz s vysokým rozlišením získáme kombinací obrazů s nízkým rozlišením, které obsahují inherentně jinou informaci než ostatní obrazy s nízkým rozlišením. Této aditivní informace je typicky dosaženo osvětlením vzorku zdrojem světla pod jiným známým úhlem. Obraz s vysokým rozlišením lze získat vyjádřením X z rovnice (3) [5]:

$$Y_k = DCF_k X + V_k. \quad (3)$$

Výsledky a diskuze

Pomocí zkonstruovaného set-upu byl měřen vzorek – test USAF 1951, který dokazuje dosažení difrakčního limitu soustavy pomocí klasické rekonstrukce, viz

Obrázek 1 (vlevo) ($2.5 \mu\text{m}$, odpovídající rozeznatelnosti pátého elementu sedmé řady s šířkou čáry $2.46 \mu\text{m}$). Dále s využitím algoritmu super-resolution je možné snadno identifikovat nejmenějšího elementu tohoto testu s šířkou čáry $2.19 \mu\text{m}$, viz Obrázek 1 (vpravo).



Obrázek 1 – a) Intenzitní pole získané standardní rekonstrukcí, b) Intenzitní pole získané DH s vysokým rozlišením

Závěr

Tato práce nastiňuje potenciál jednoduché zobrazovací metody, která umožňuje měření v širokém zorném poli s rozlišením v řádu jednotek mikrometrů s potenciálem dalšího zvýšení rozlišení, viz [1]. Metoda disponuje navíc svou jednoduchostí a kompaktností a lze ji využít i mimo laboratoře. Oproti klasické optické

mikroskopii umožňuje kromě rekonstrukce amplitudy i rekonstrukci fáze.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Pavlu Psotovi, Ph.D. a Ing. Petru Vojtíškov, Ph.D. za cenné rady při kompletování této práce.

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2018.

Reference

- [1] GREENBAUM, Alon, Najva AKBARI, Alborz FEIZI, Wei LUO a Aydogan OZCAN. Field-Portable Pixel Super-Resolution Colour Microscope. *PLoS ONE*. 2013, **8**(9), 9. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076475>.
- [2] ISIKMAN, Serhan, Waheb BISHARA, Uzair SIKORA, Oguzhan YAGLIDERE a Aydogan OZCAN. Multi-angle illumination with pixel super-resolution enables lensfree on-chip tomography. *SPIE Newsroom* [online]. 2011, , - [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1117/2.1201111.003979. ISSN 18182259. Dostupné z: <http://www.spie.org/x84293.xml>
- [3] LÉDL, Vít, Pavel PSOTA, Petr VOJTÍŠEK a Roman DOLEČEK. *Digitální holografická interferometrie*. Liberec: ReproArt Liberec, 2015. ISBN 978-80-906324-0-0.
- [4] VERRIER, Nicolas a Michael ATLAN. Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations. *Applied Optics*. OSA, 2011, **50**(34). DOI: doi.org/10.1364/AO.50.00H136.
- [5] CASSEY, Thomas. *Super-Resolution* [online]. In: . University of California – San Diego [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://cseweb.ucsd.edu/classes/wi07/cse>