

Komprimované snímání jednopixelovou kamerou

Ondřej Denk <ondrej.denk@tul.cz>, RNDr. Karel Žídek, Ph. D.

Komprimované snímání je již řadu let považováno za velmi elegantní teorii využívanou k záznamu informace. Dostatečný rozsah měření za využití této teorie odpovídá jen malému zlomku počtu jednotlivých měření při klasickém záznamu. Této přednosti je plně využito v měřicí metodě jednopixelové kamery, která pro záznam využívá jediného fotocitlivého senzoru, přičemž není zapotřebí celou scénu postupně skenovat. Pro záznam jsou použity lineární kombinace jednotlivých měření, což umožňuje zkrátit čas nutný k záznamu až o 96%. Předností jednopixelové kamery je její využití napříč všemi oblastmi světelného spektra.

Klíčová slova: jednopixelová kamera, komprimované snímání, záznam obrazu, počítačová rekonstrukce obrazu

Úvod

Obvyklý postup záznamu obrazu se neobejde bez složitých optických soustav, u kterých je vždy požadována vysoká kvalita zobrazování. V mnohých aplikacích je ale tvorba takovýchto zařízení velmi nákladná a je proto potřeba hledat alternativní přístupy k záznamu obrazové informace. Jednou alternativou je metoda jednopixelové kamery na bázi komprimovaného snímání, která umožňuje výpočetně rekonstruovat obraz ze záznamů v těžko přístupných spektrálních oblastech (UV, MIR, apod.). Komprimované snímání umožňuje nejen velmi zjednodušit záznamové procesy [1], ale také využít obvyklých záznamových procesů pro získávání informace „navíc“ [2]. V našem případě spočívala motivace práce v zobrazování vad v krystalech CdTe [3].

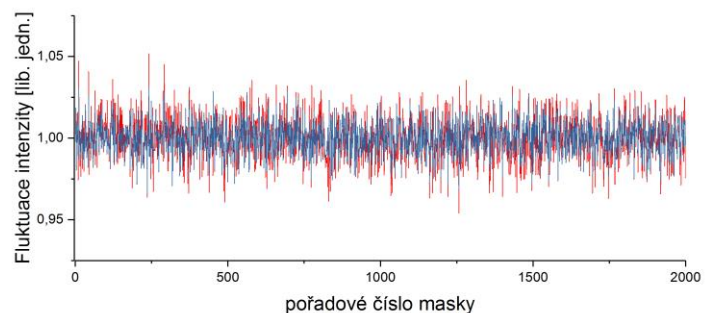
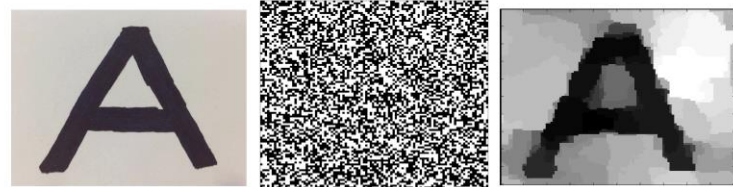
Metodika

komprimované snímání, které obchází celý proces vzorkování signálu a přímo snímá $M < N$ lineárních kombinací měření ve tvaru y_m na zaznamenávaném signálu x při současném uchování testovacích funkcí $\{\phi_m\}_{m=1}^M$ tak, že platí:

$$y_m = \langle x, \phi_m \rangle$$

Pokud nyní vytvoříme $M \times N$ matici A z měřících vektorů A_m , vznikne jí příslušící vektor záznamu y a můžeme nyní celý systém popsat základní rovnicí komprimovaného snímání [4]:

$$y = Ax = A\Psi\alpha = \Phi\alpha$$



Obrázek 1: Záznam skutečné scény. Horní řada: Vlevo – skutečná scéna; Uprostřed – náhodná maska promítaná do prostoru scény; Vpravo – příklad rekonstrukce skutečného obrazu. Dolní graf: záznam fluktuace intenzit, měřený signál – červeně, celková intenzita masky (bez započítání scény) – modře.

Volba rekonstrukčního algoritmu

Pro rekonstrukci byl zvolen algoritmus TVAL3 [5] využívající totální variace [6].

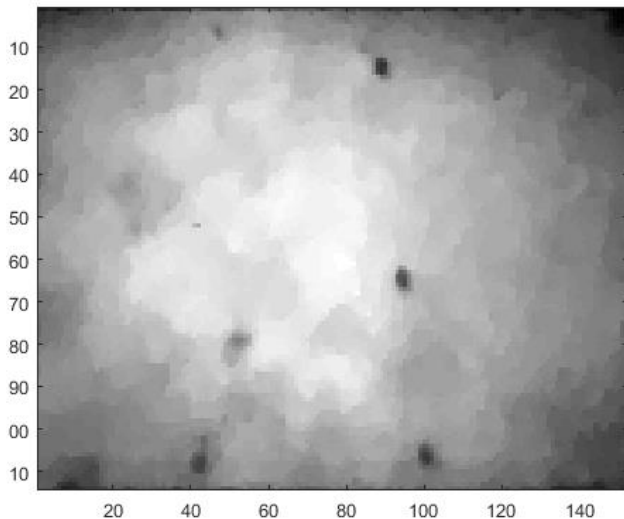
Postup měření

Jednopixelová kamera využívající teorie komprimovaného snímání byla sestavena za využití balanční fotodiody, která umožňuje výrazně potlačit šum optického pozadí. Do prostředí scény byly promítány náhodné masky za využití digitálního zpracování světla (DLP), které využívá pole mikrometrových zrcátek. Pro provádění záznamů bylo

určeno rozlišení metody na $d = 12 \mu\text{m}$, metoda je tedy velmi vhodná pro zobrazování mikroskopických jevů, které je potřeba pozorovat v rámci spektrálních oblastí nacházejících se mimo rozsah klasických záznamových zařízení.

Výsledky a diskuze

Metodou byly provedeny záznamy krystalických vad, neboli inkluzí, na krystalech CdTe. Příklad výsledného záznamu je vyobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2: Obraz krystalických vad v pro viditelné spektrum neprůhledném krystalu CdTe. Pro záznam bylo použito 20% měření v porovnání s rastrováním celé oblasti.

Metoda je také uplatnitelná pro záznam hyperspektrální informace, kdy je jako jednopixelový detektor využit spektroskop, a metoda tak dokáže každému bodu rekonstruované scény přiřadit celé optické spektrum.

Závěr

V rámci práce se nám podařilo popsat některé základní principy teorie komprimovaného snímání, které je navrženo jako vhodnější alternativa klasického záznamu objemných datových celků. Nově navržené metody jsou velmi dobře uplatnitelné v případech, kdy tvorba klasického záznamového zařízení je velmi nákladná či dokonce fyzikálně neproveditelná.

Podařilo se nám navrhnout takovou měřicí soustavu, která byla schopna pracovat jako optický mikroskop v oblasti blízké infračervené oblasti, avšak bez využití nákladných zobrazovacích a záznamových zařízení.

Poděkování

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

Reference

- [1] E. J. Candes a M. B. Wakin, „An Introduction To Compressive Sampling“, *IEEE Signal Processing Magazine*, roč. 25, č. 2, s. 21–30, bře. 2008.
- [2] P. Binev, W. Dahmen, R. DeVore, P. Lamby, D. Savu, a R. Sharpley, „Compressed sensing and electron microscopy“, in *Modeling Nanoscale Imaging in Electron Microscopy*, Springer, 2012, s. 73–126.
- [3] A. Musienko *et al.*, „Deep levels in high resistive CdTe and CdZnTe explored by photo-Hall effect and photoluminescence spectroscopy“, *Semicond. Sci. Technol.*, roč. 32, č. 1, s. 015002, 2017.
- [4] A. Stern, *Optical Compressive Imaging*. CRC Press, 2016.
- [5] C. Li, W. Yin, a Y. Zhang, „User’s guide for TVAL3: TV minimization by augmented lagrangian and alternating direction algorithms“, *CAAM report*, roč. 20, s. 46–47, 2009.
- [6] F. Kraemer, C. Kruschel, a M. Sandbichler, „Total Variation Minimization in Compressed Sensing“, *arXiv:1704.02105 [cs, math]*, dub. 2017.