

# Komprimované snímání jednopixelovou kamerou

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

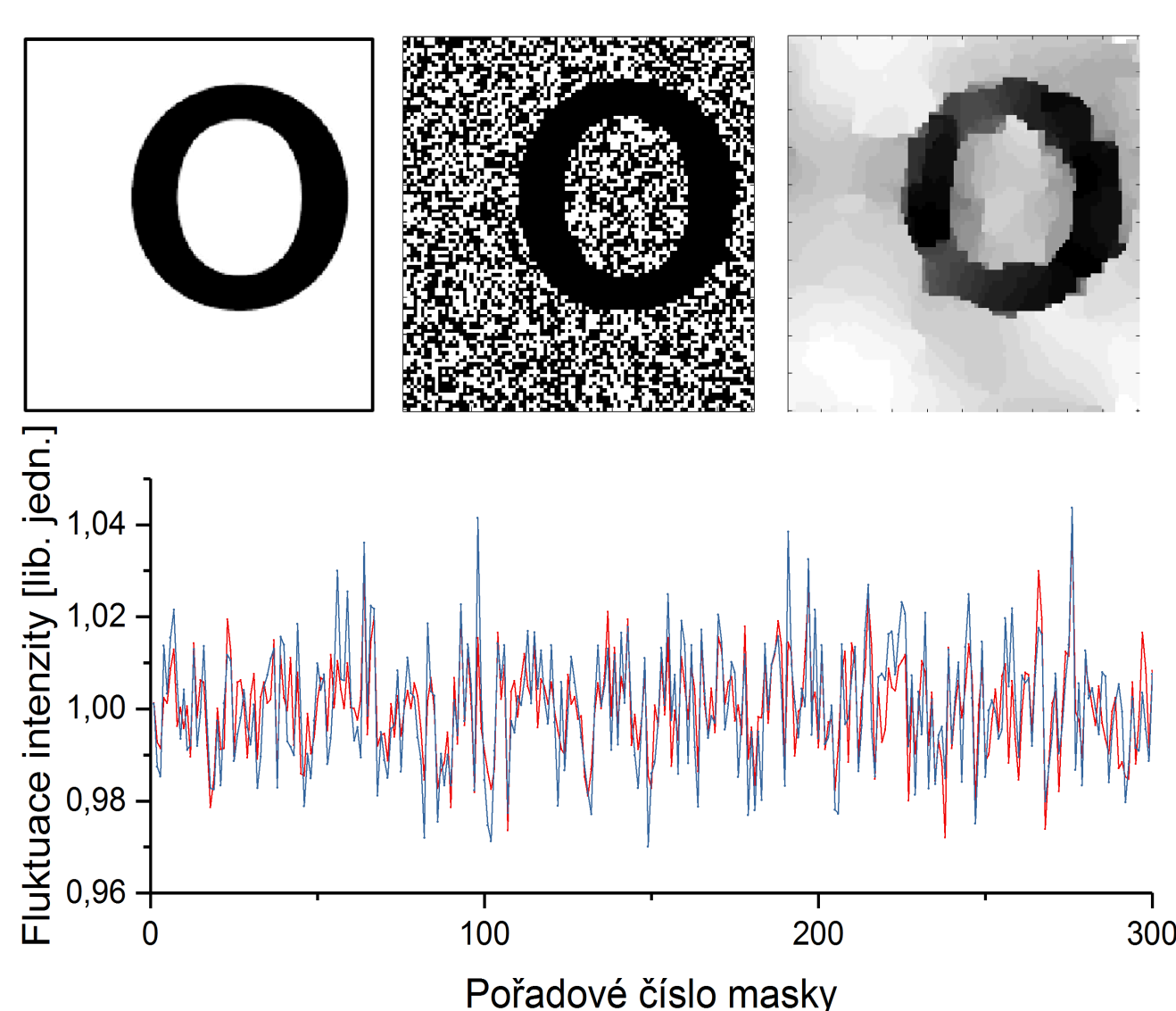
## ABSTRAKT

Komprimované snímání (CS) 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 návrhu záznamu. CS umožňuje nejen velmi zjednodušit záznamové procesy [1], ale také využít obvyklých záznamových procesů pro získávání informace „navíc“ [2]. Této přednosti je plně využito v měřicí metodě jednopixelové kamery (SPC), která pro záznam využívá jediného fotocitlivého senzoru, přičemž metoda nevyžaduje postupné skenování celé scény. Pro záznam jsou použity lineární kombinace jednotlivých měření, což umožňuje zkrátit čas nutný ke sběru dat až o 96%. Předností jednopixelové kamery je její využití napříč všemi oblastmi světelného spektra a možnost hyperspektrálního záznamu.

## ÚVOD

Obvyklý postup záznamu obrazu se neobejde bez složitých optických soustav, u kterých je vždy požadována vysoká kvalita zobrazování. Jednopixelová kamera na bázi CS oproti tomu nabízí velmi robustní alternativu, která umožňuje konstrukci velmi jednoduchých měřicích optických soustav schopných záznamu scény bez nutnosti jejího důsledného skenování. Motivací pro tvorbu práce představovala aplikace metody SPC v exotických spektrálních oblastech, kde jsou klasické záznamové prostředky na bázi např. Si slepé (UV, MIR, apod.).

## METODIKA



Obrázek 1: Práce s umělými daty. Horní řada: Vlevo – původní vzhled scény; Uprostřed – scéna modulovaná maskou 100 x 100; Vpravo – příklad rekonstrukce z podzorkovaného systému ( $m = 300$ ). Dolní graf: záznam fluktuace intenzit pro 300 náhodných masek (skutečný záznam – červeně, s přidaným šumem – modře).

Odpověď na tuto otázku přináší CS, které umožňuje sadou  $M$  ( $M \ll N$ ) náhodných neadaptivních měření zaznamenat několik málo údajů, které za předpokladu komprimovatelnosti signálu dovolují obraz signálu zpětně zrekonstruovat. Vektor měření  $y$  délky  $M$  je definován základní rovnicí CS:

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

Kde  $A$  je vhodně navržená (náhodná) měřicí matice.

Jako regularizátor pro nalézání rekonstrukce slouží minimalizace obrazu v řídké doméně:

$$\hat{\alpha} = \arg \min \|\alpha\|_1, \quad \text{kdy} \quad \|A\Psi\alpha - y\|_2 \leq \epsilon_n$$

Záznam signálu za běžných okolností podléhá Nyquist-Shannonovu teorému (stanovuje záznamovou frekvenci, které je nutno docílit pro účely kompletního záznamu informace s danou šířkou frekvenčního rozsahu). Po záznamu ale běžně dochází ke kompresi (.JPEG, .WAV, apod.), kdy je využita transformace signálu  $x$  délky  $N$  do řídké domény:

$$x = \Psi\alpha$$

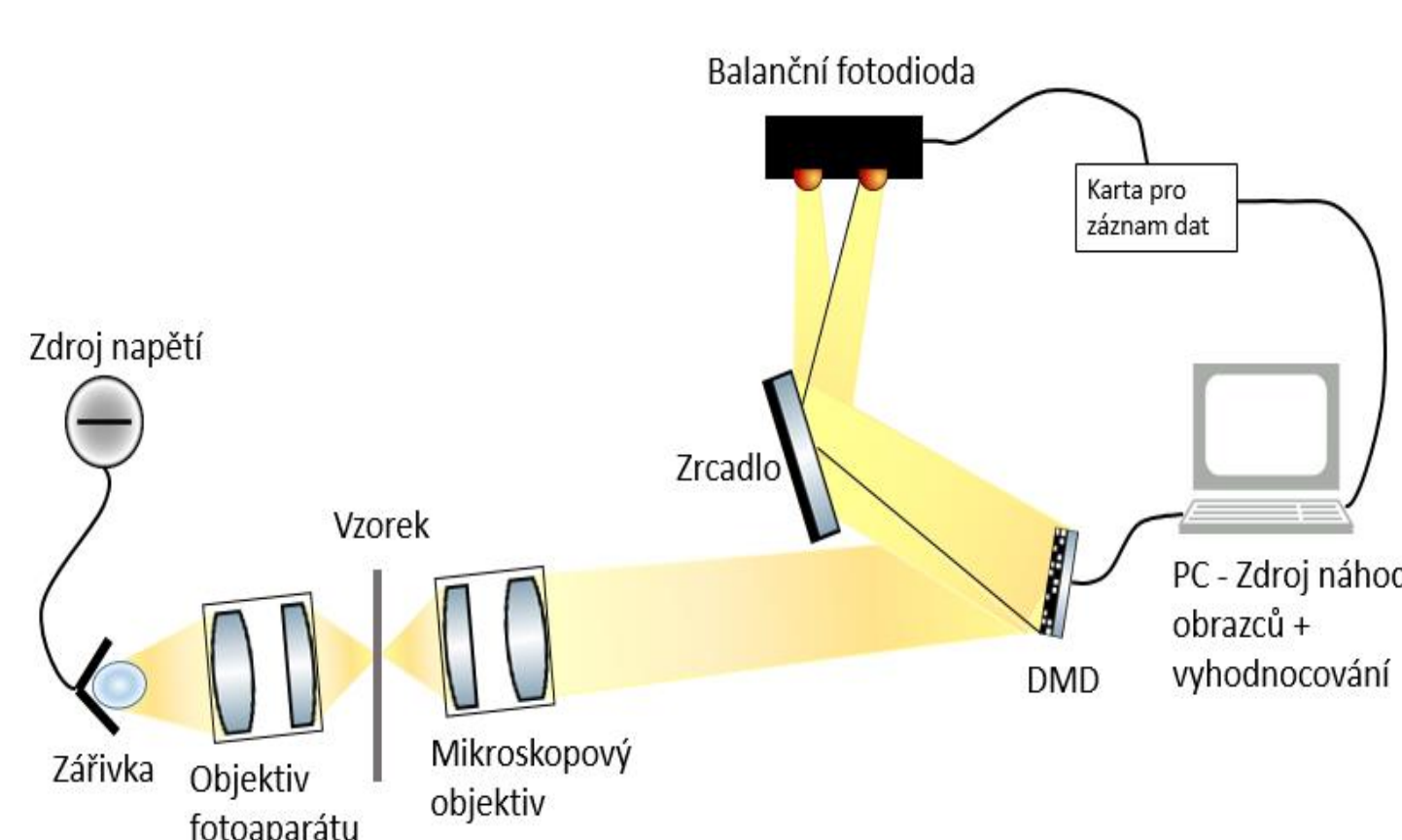
Proč ale nevyužít komprimovatelnosti již při záznamu a procházet si složitou cestou záznamu celého signálu, když značná část je kompresí ztracena [3]?

## Volba rekonstrukčního algoritmu

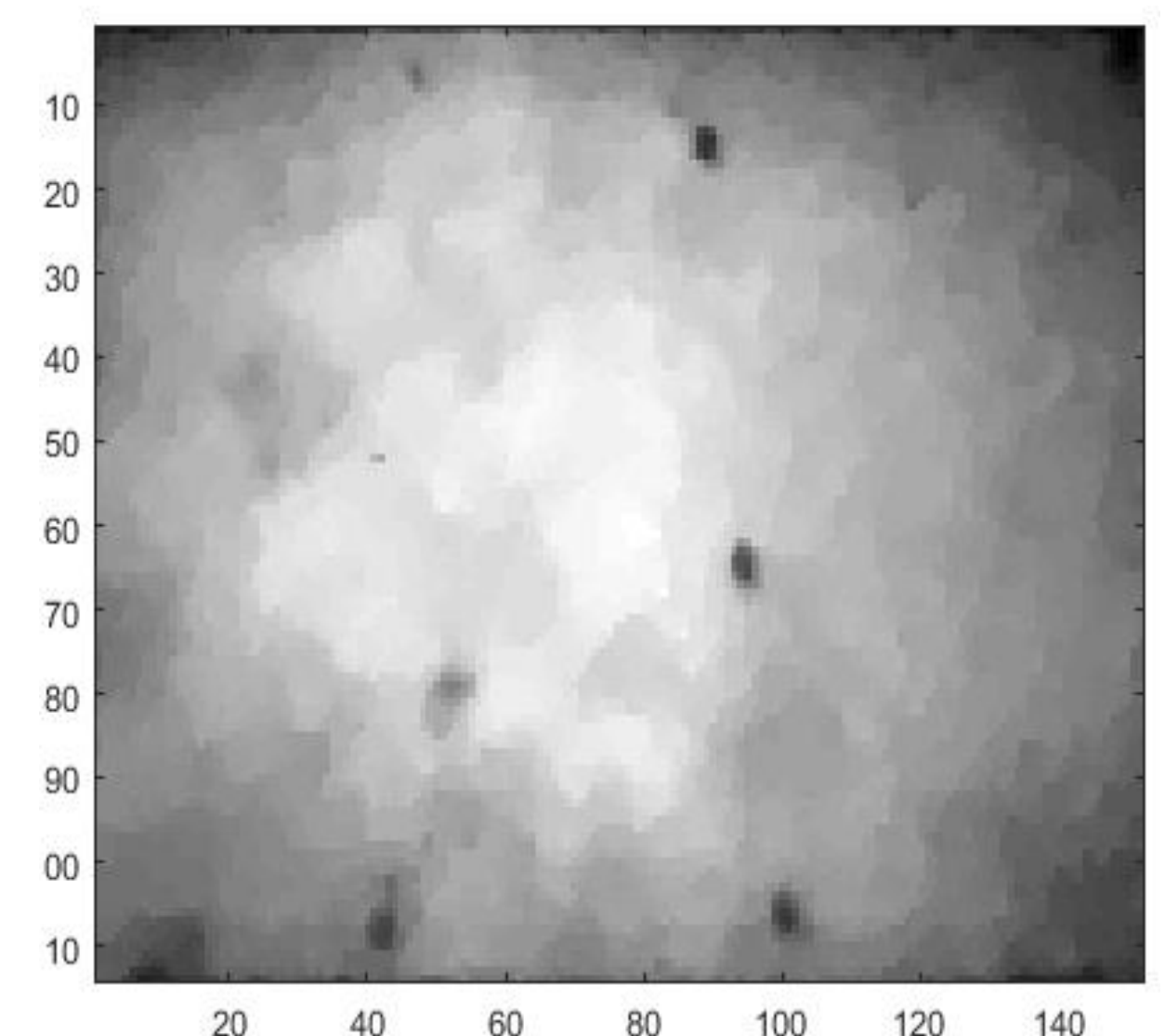
Pro rekonstrukci byl zvolen algoritmus TVAL3 [4] využívající totální variace. Další možnosti představují hladové nebo relaxační algoritmy.

## Postup měření

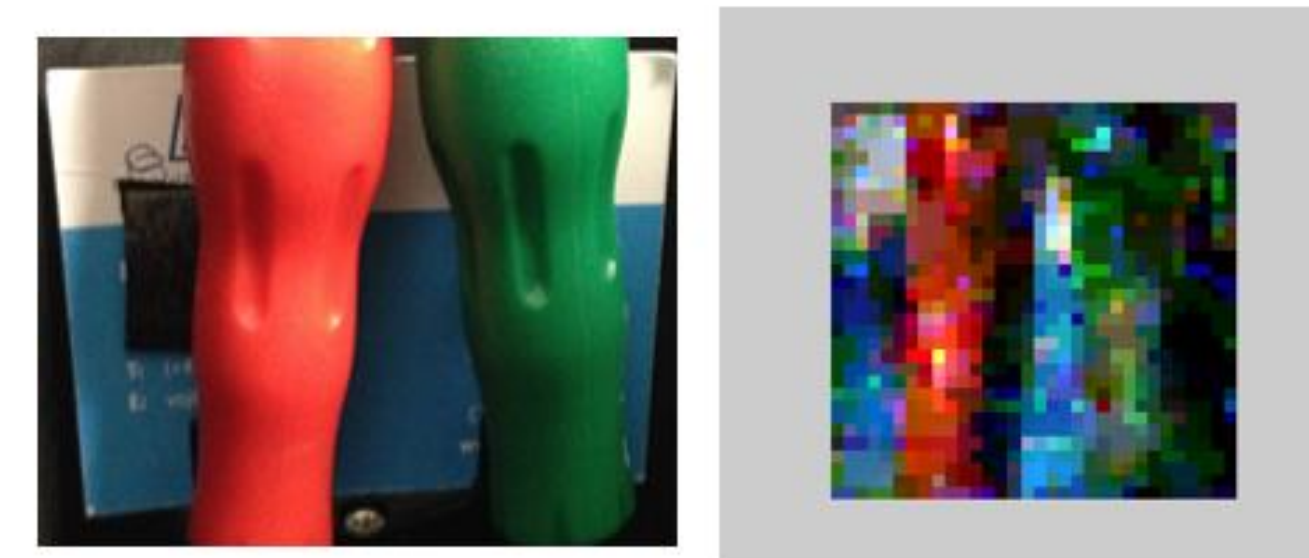
SPC využívající teorie komprimovaného snímání byla sestavena za využití balanční fotodiody, která umožňuje výrazně potlačit šum optického pozadí. Do prostředí scény byly promítány náhodné masky za využití prostředků umožňujících digitálního zpracování světla (DLP), které využívají pole mikrometrových zrcátek (obr. 1). 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.



Obrázek 2: Schéma finální sestavy s balanční fotodiódou. Svazek je na DMD rozdělen na dvě části a každá je sbírána jednou částí diody.



Obrázek 3: Příklad záznamu balanční fotodiódou – snímek inkluzí uvnitř pro VIS neprůhledného trámečku. Inkluze jsou patrné jen při zobrazování v UV spektrální oblasti



Obrázek 4: Srovnání záznamu barevné scény: Vlevo – barevná fotografie. Vpravo – barevná rekonstrukce pomocí DLP.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

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 vyvinout měřicí soustavu, která byla schopna pracovat jako optický mikroskop v oblasti blízké infračervené oblasti, avšak bez využití nákladných zobrazovacích a záznamových zařízení. Takto navržený mikroskop byl použit pro záznam krystalických vad, tzv. inkluzí uvnitř CdTe trámečku [5], který je ve viditelném světle neprůhledný.

## 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] M. F. Duarte *et al.*, „Single-pixel imaging via compressive sampling“, IEEE Signal Processing Magazine, roč. 25, č. 2, s. 83–91, bře. 2008.
- [4] 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.
- [5] A. Musiienko *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.