



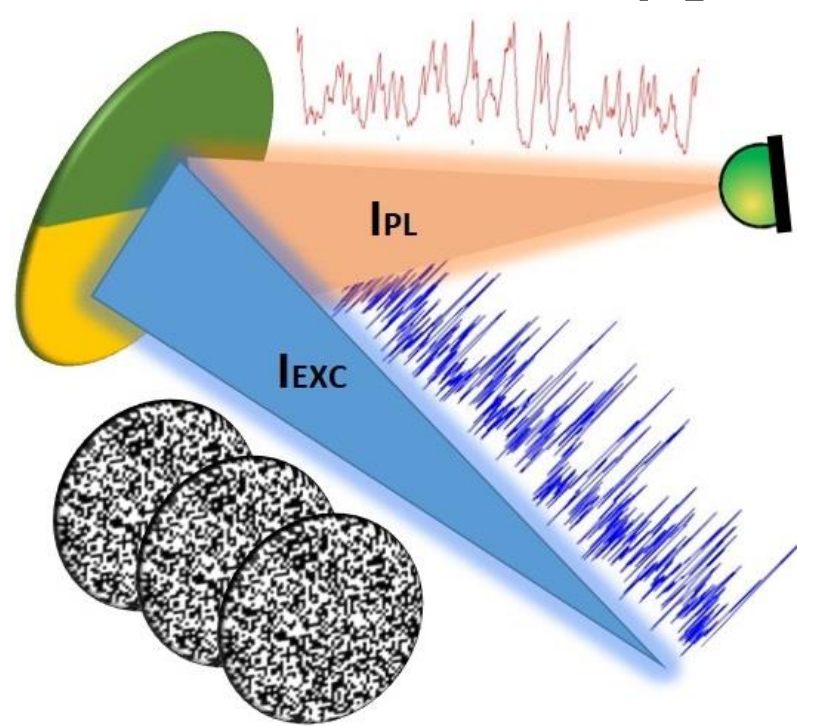
ÚVOD

Zobrazování života dohasínání fotoluminiscence (FLIM) je často frekventovaná spektrometrická analýza v biologii, chemii a materiálovém inženýrství. Existuje celá řada metod, jak dynamiku fotoluminiscence (PL) měřit. Jednou z nových metod zabývajících se uvedenou problematikou je 2D měření dohasínání PL založené na náhodné excitaci měřeného vzorku - metoda RATS [1], v režimu snímání jednopixelové kamery [2]. Kvalita snímání je v takovéto konfiguraci ovlivněna všudypřítomným šumem. Šumová analýza metody je proto důležitým poznatkem, který umožní optimalizaci reálné optické konfigurace a zlepši kvalitu rekonstrukce. Za účelem zachování konstantních podmínek byly všechny následující výsledky získány pomocí simulací.

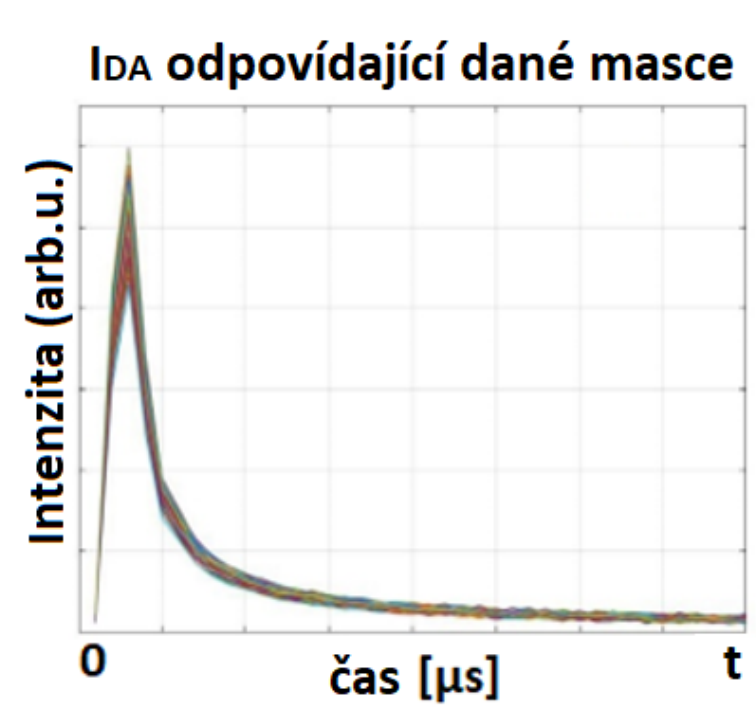
METODA 2D RATS

Metoda 2D RATS kombinuje buzení měřeného vzorku náhodným signálem a konfiguraci jednopixelové kamery (SPC). Měřený vzorek je potom postupně osvětlen sadou náhodných masek, jejichž intenzita fluktuuje v čase podle budícího signálu I_{EXC} (obrázek 1). Signál PL I_{PL} je dán vztahem 1, kde $I_D(i)$ je PL rozpad v každém bodě i vzorku, který je právě maskou osvětlen.

$$\sum_{i=1}^n I_{PL(i)} = I_{EXC} * \sum_{i=1}^n I_{D(i)}. \quad (1)$$



Obrázek 1: Schema metody 2D RATS



Obrázek 2: Příklady rekonstrukcí I_{DA}

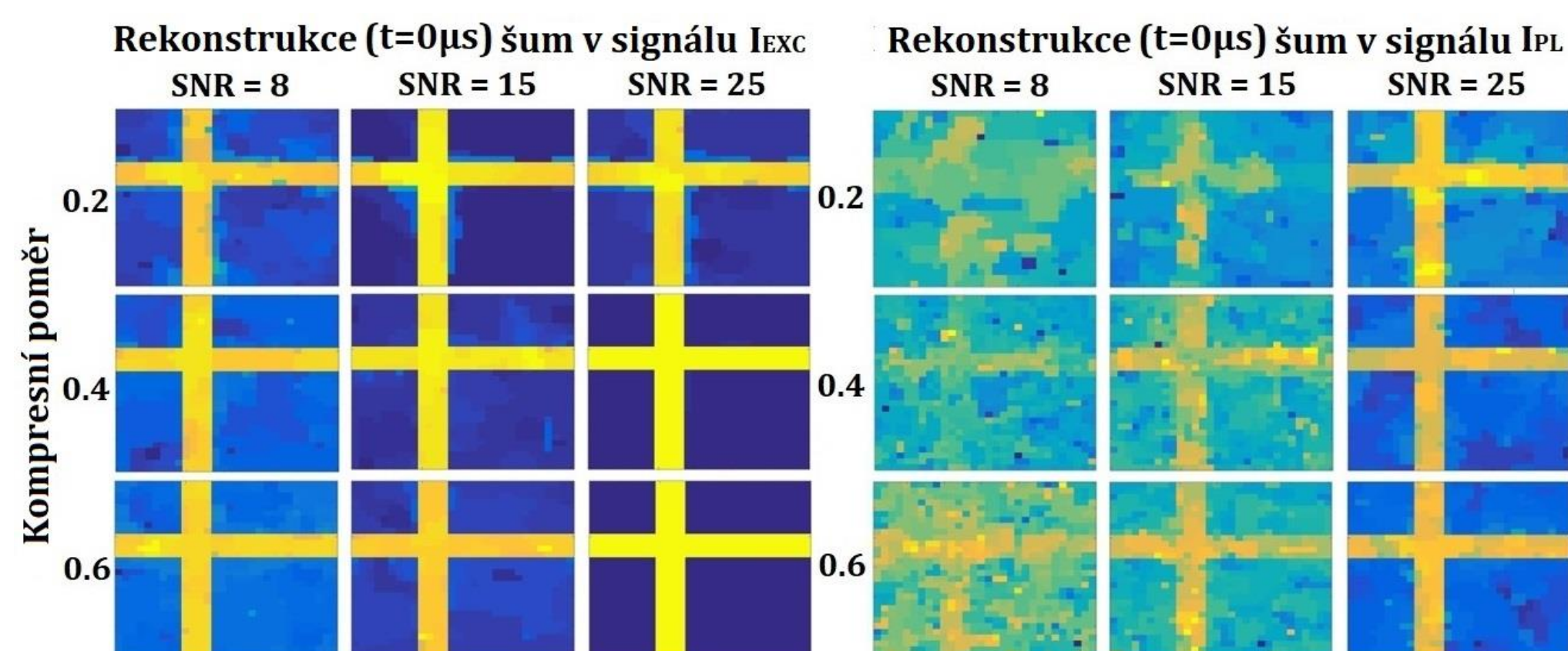
$$I_{DA} = Re \left\{ \mathbb{F}^{-1} \left[\frac{\mathbb{F} \left(\sum_{i=1}^n I_{PL(i)} \right) \mathbb{F}^* (I_{EXC})}{\mathbb{F} (I_{EXC}) \mathbb{F}^* (I_{EXC}) + \epsilon \mathbb{F} (I_{EXC}) \mathbb{F}^* (I_{EXC})} \right] \right\}. \quad (2)$$

V konfiguraci SPC je nutné určit křivku dohasínání PL pro každou použitou masku. Díky náhodnosti masek je excitován vždy jiný soubor bodů vzorku, které reprezentuje jedna křivka dohasínání PL značená I_{DA} (Obrázek 2), vypočtená podle vztahu 2. Díky náhodnosti použitých masek intenzita fluktuuje v jednotlivých časových bodech množiny $I_{DA}(t)$. To umožňuje výpočet 2D PL map v daném čase t s použitím algoritmů komprimovaného snímání. Potom je možné získat křivku dohasínání $I_D(i)$ pro každý pixel měřeného vzorku.

ANALÝZA Vlivu šumu na kvalitu rekonstrukce

Do signálů I_{EXC} a I_{PL} byl uměle přidáván šum o různé úrovni **SNR**. Nejprve byl zkoumán případ šumu v signálu I_{EXC} , zatímco signál I_{PL} zůstal absolutně bez šumu a vice versa. Referenční scéna byla vybrána jako křížový obraz s rozsahem 30 x 30 pixelů. Pro názornost byla rekonstrukce provedena pouze v časovém bodě odpovídajícím maximu I_{DA} .

Použit byl rekonstrukční algoritmus TVAL3, který je založen na řídkosti totální variace obrazu [3]. Hlavní parametry algoritmu byly nastaveny: **mu** (2^{11}), **beta** (2^7). Dále uvádíme výsledky rekonstrukce pro tři vybrané kompresní poměry $k = 0.2, 0.4, 0.6$ a tři různé poměry **SNR** = 8, 15, 25. Výsledky jsou shrnuty na obrázku 3. Výsledky ukazují, že poměr **SNR** je pro kvalitu rekonstrukce více určující než kompresní poměr, který má v porovnání malý vliv. Redukce šumu umožní akvizici s nízkým kompresním poměrem, a tedy také zajistí rychlý sběr dat.

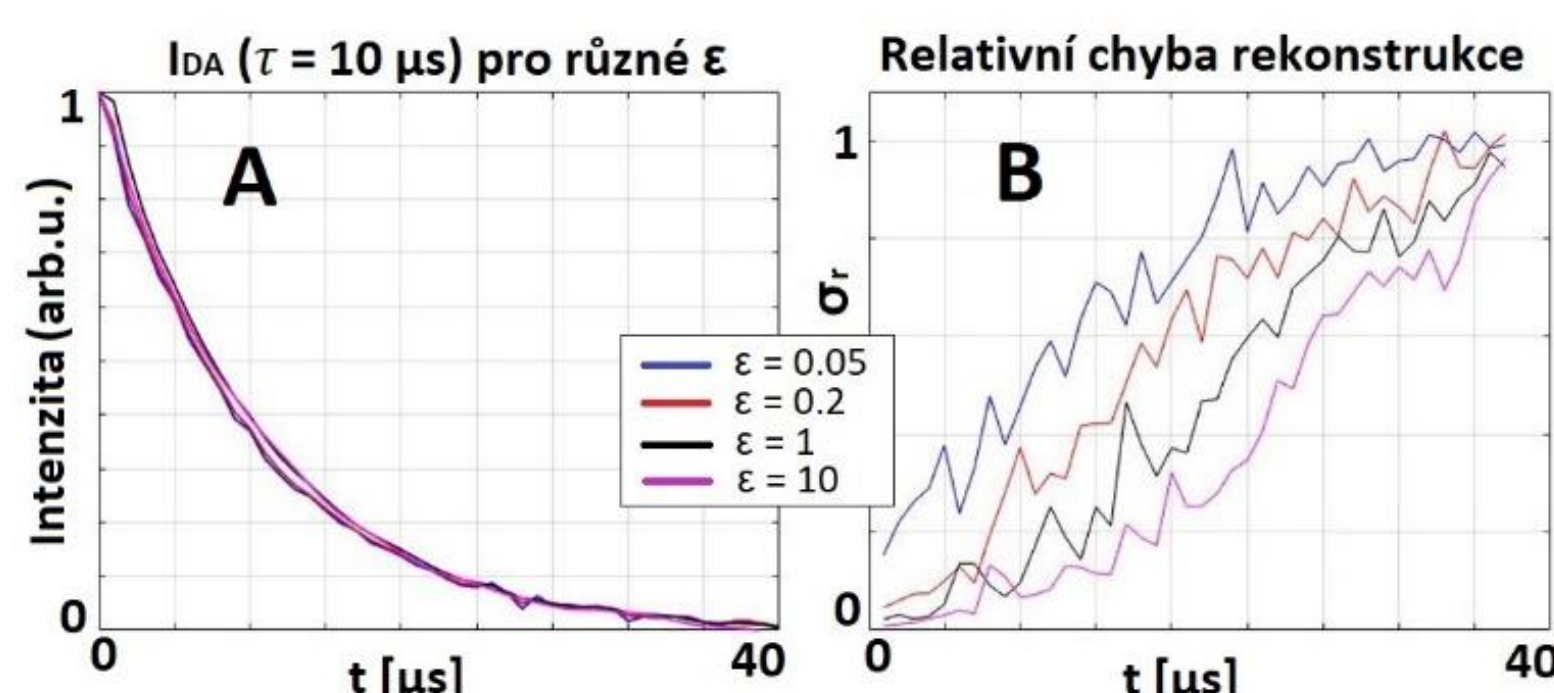


Obrázek 3: Levá část: rekonstrukce pro případ - šum v I_{EXC} . Pravá část: rekonstrukce pro případ - šum v I_{PL} . Parametry šumu jsou shodně **SNR** = 8, 15, 25 (sloupce) a kompresní poměry $k = 0.2, 0.4, 0.6$ (řádky).

Důležitým poznatkem je také to, že výrazně větší vliv na kvalitu rekonstrukce obrazu má šum v signálu I_{PL} než v I_{EXC} .

VLIV REGULARIZAČNÍHO PARAMETRU ϵ

Volba regularizačního parametru ϵ , který je součástí vztahu 2, umožňuje řešit špatně podmíněné případy, kdy by mohl nastat případ dělení nulou [4]. Parametr eliminuje vliv méně zastoupených frekvencí v signálu (šum) a tedy signál vyhlazuje, což zlepši kvalitu rekonstrukce 2D RATS. To bylo zkoumáno pro kompresní poměr $k = 0.4$ a **SNR** = 25.



Obrázek 4: Část A: Určení I_{DA} pro totožnou masku s různými regulačními parametry $\epsilon = 0.05, 0.2, 1, 10$ a **SNR** = 25. Část B: Vývoj relativní chyby rekonstrukce σ_r pro jednotlivé časové body dohasínání pro $k = 0.4$ a **SNR** = 25 a regulačními parametry $\epsilon = 0.05, 0.2, 1, 10$.

ZÁVĚR

Příspěvek shrnuje studium vlivu bílého šumu na kvalitu rekonstrukce 2D PL spektrogramu v daném čase PL dohasínání t , který je založen na snímání metodou RATS v jednopixelové konfiguraci. Z výsledků je patrné, že výrazně větší vliv má přítomný šum v signálu I_{PL} než v I_{EXC} . Tomu je třeba podřídit volbu detektorů. Volba parametru ϵ se ukazuje jako vhodná varianta pro vyhlazení PL dohasínání a tedy i zkvalitnění rekonstrukce 2D PL spektrogramu.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2021.

REFERENCE

- [1] J. Junek, L. Ondič, and K. Žídek, "Random temporal laser speckles for the robust measurement of sub-microsecond photoluminescence decay," Opt. Express, OE 28, 12363–12372 (2020).
- [2] J. Junek and K. Žídek, "Fluorescence lifetime imaging via spatio-temporal speckle patterns in a single-pixel camera configuration," Opt. Express 29, 5538–5551 (2021).
- [3] C. Li, Yin, Wotao, and Zhang, Yin, "TVAL3 Home," Rice University, Copyright (C) (2009), Last updated 11/07/2013, (available from: <https://www.caam.rice.edu/~optimization/L1/TVAL3/>).
- [4] A. N. Tikhonov and V. Y. Arsenin, "Solutions of ill-posed problems," (1977).