

Vývoj robustní metody komprimovaného snímání s použitím kódované apertury

Jiří Hlubuček <jiri.hlubucek@tul.cz>, Karel Žídek

Tato práce se zabývá vylepšením metody CASSI. Cílem je dosáhnout lepšího kompresního poměru získáním více informací o měřené scéně, a tím pádem zlepšit kvalitu a přesnost rekonstrukce. Princip spočívá ve zdvojení zaznamenané informace na detektor, čímž si CASSI ponechává svoji unikátní vlastnost – akvizice hyperspektrálních dat v jediném okamžiku, a na rozdíl od standardních přístupů nevede k zesložitění systému.

Klíčová slova: CASSI, komprimované snímání, hyperspektrální zobrazování

Úvod

CASSI (z angl. Coded Aperture Snapshot Spectral Imaging) je metoda kombinující hyperspektrální zobrazování (HSI) a komprimované snímání (CS), která umožňuje získat 3D hyperspektrální data rychle z jediného 2D snímku. Jádrem této metody je zakódování měřené scény pomocí binární náhodné masky, která je následně spektrálně rozmítnuta na detektor. HSI je velmi důležité, neboť nám může poskytnout obrovské množství informací o měřené scéně, které není možné získat žádným jiným způsobem (neinvasivní snímání chemické informace na dálku). Je nutné podotknout, že v tomto případě nastává obrovská komprese dat. Tím pádem, standardní CASSI hledá kompromis mezi kvalitou rekonstruovaných dat, spektrálním rozsahem a spektrálním rozlišením.

Jedním ze způsobů, jak zlepšit kvalitu rekonstrukce je získání více informací o měřené scéně. Avšak, tyto modifikace CASSI s sebou často přinášejí další omezení, např. zachycení nerozmítnutého obrazu scény typicky vede k zesložitění optického systému – nutnost použití dvou detektorů [1], nebo zaznamenání více snímků s použitím různých náhodných masek má za následek zpomalení rekonstrukčního, případně měřicího procesu [2], atd. Nedávná studie se snaží odstranit nutnost použití druhé kamery tím, že využívá optickou mřížku a vhodnou konfiguraci systému k zachycení nultého a prvního řádu difrakce na stejný detektor [3].

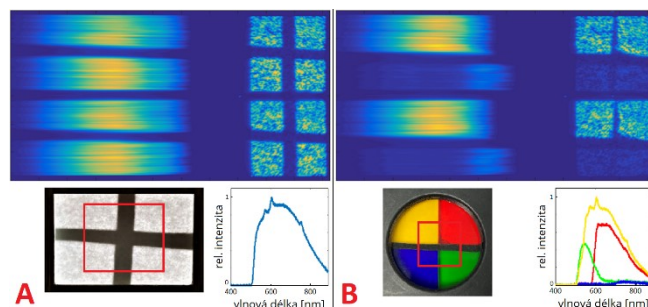
Metodika

Získání více informací o měřené scéně je zde realizováno použitím dvou zobrazovacích čoček (10x50 mm, $f=100$ mm), tedy i dvou různých náhodných masek

(64x64 px), což má za následek zdvojení CASSI informace (obrazy zachyceny na detektoru nad sebou) současně při zachování její hlavní výhody, čímž je akvizice pouze jediného snímku. Ukázku takto zaznamenaných dat na detektoru s využitím vylepšení z reference [3] můžeme vidět na Obrázku 1. Pro obě scény je vlevo nahoře spektrálně rozmítnutý první řád difrakce a vpravo nahoře nerozmítnutý nultý řád. Pod ním je fotografie měřené scény, kde červený čtverec označuje měřenou oblast, a příslušné spektrum.

Měření probíhala na spektrálním rozsahu 400-890 nm s tím, že oblast pod 500 nm (kde náš systém vykazuje největší aberace) byla ořezána filtrem OG-515. Výsledná data rychle má prostorové rozměry 64x64 pixelů a 123 spektrálních řezů, což zajišťuje spektrální rozlišení přibližně 4 nm.

Zpracování a rekonstrukce dat pro různé scény byla provedena pomocí programu Matlab. Pro lepší kontrolu nad rekonstrukčním algoritmem byla vytvořena simulovaná data, která umožňují porovnat kvalitu rekonstrukce s originální data krychlí.

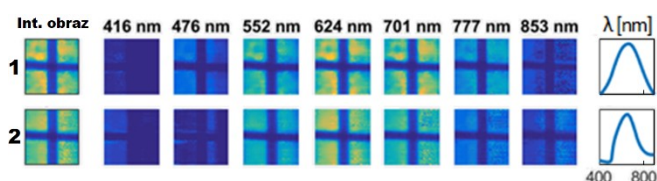


Obrázek 1: Ukázka dat z detektoru pro dvě různé scény (nahore); první řád difrakce vlevo, nultý řád difrakce vpravo. Fotka měřené scény (vlevo dole). Změřená spektra (vpravo dole).

Výsledky a diskuze

Na Obrázku 2 je možné vidět rekonstrukci scény neprůhledného kříže – spektrálně integrovaný obraz (vlevo), vybrané spektrální řezy (uprostřed) a celkové spektrum (vpravo) pro jednomaskový a dvojmaskový přístup.

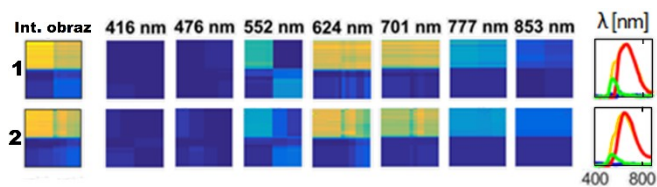
Oba přístupy byly schopny zrekonstruovat neprůhledný kříž, avšak klasický přístup nebyl schopný správně určit spektrum pod 500 nm, kde má být nulová intenzita – viz spektrum v Obrázku 1A. Dvojmaskový přístup také zajišťuje lepší homogenitu intenzity scény, což je patrné zejména na řezech 624 a 701 nm, stejně tak jako v integrovaném obrazu.



Obrázek 2: Rekonstruovaný spektrálně integrovaný obraz, vybrané spektrální řezy a spektrum scény z Obrázku 1A pro jednomaskový (nahore) a dvojmaskový přístup (dole).

Zatímco v Obrázku 2 je jednoduchý spektrální tvar modulovaný intenzitou, na Obrázku 3 je rekonstrukce scény se čtyřmi barevnými filtry (viz Obrázek 1B) osvětlenými širokopásmovým zdrojem.

Je dobré si povšimnout, že jednomaskový přístup hůře zachycuje oddělení červeného a žlutého filtru, což je vidět na řezech 624 a 701 nm. Kvůli silnému signálu z červeného filtru jsme pozorovali, že ostatní spektra mají tendenci kopírovat červenou linii, avšak dvojmaskový přístup je schopný tyto filtry odlišit o něco lépe.



Obrázek 3: Rekonstruovaný spektrálně integrovaný obraz, vybrané spektrální řezy a spektra scény z Obrázku 1B pro jednomaskový (nahore) a dvojmaskový přístup (dole).

Kvalitu rekonstrukce experimentálních dat nebylo možné kvantifikovat pomocí residuí z obrazu na detektoru, neboť jsme pozorovali dosažení nízkých residuí i pro rekonstrukce, které se očividně neshodovali s originální scénou. Kvůli tomu byly vytvořeny sady simulovaných datakrychlí a obrazů na detektoru věrně napodobující detekované scény na

Obrázku 1A a 1B pomocí pečlivé analýzy aberací přítomných v našem systému. Porovnání mezi originální X_{OR} a rekonstruovanou X_{REC} datakrychlí bylo zajištěno nejnižším dosažitelným rozdílem mezi nimi, definované jako $l_2\text{-norm}\|X_{OR} - \mu X_{REC}\|_2$, vztahované na počet voxelů datakrychle, kde parametr μ byl optimalizován na minimální hodnotu.

V Tabulce 1 je nejnižší dosažený rozdíl během rekonstrukce pro oba přístupy. V souladu s výsledky rekonstrukce reálných dat je dokázáno, že dvojmaskový přístup překonává jednomaskový.

Tabulka 1: Rozdíl mezi originální a rekonstruovanou datakrychlí

PŘÍSTUP	SCÉNA A	SCÉNA B
1 maska	5,529e-04	1,064e-03
2 masky	5,004e-04	9,834e-04

Závěr

Závěrem je nutné říci, že jednoduchou úpravou optického setupu je možné zlepšit kompresní poměr metody CASSI, a tím pádem zlepšit kvalitu a přesnost rekonstrukce. Navíc, díky tomu, že používáme jak první, tak nultý řád difrakce, jsme schopni provést prvotní odhad datakrychle velmi blízko té měřené, což má za následek snížení času potřebného k rekonstrukci.

Poděkování

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

Reference

- [1] L. Wang, Z. Xiong, D. Gao, G. Shi, and F. Wu, "Dual-camera design for coded aperture snapshot spectral imaging," *Applied Optics* 54, 848–858 (2015).
- [2] H. Arguello, H. Rueda, Y. Wu, D. W. Prather, and G. R. Arce, "Higher-order computational model for coded aperture spectral imaging," *Applied Optics* 52, D12-D21 (2013).
- [3] J. Hlubuček, J. Lukeš, J. Václavík, and K. Židek, "Enhancement of CASSI by a zero-order image employing a single detector," *Applied Optics* 60, 1463-1469 (2021).