

Review of the doctoral thesis of Ing. Jiří Hlubuček
„Single-snapshot compressive hyperspectral imaging using coded aperture“

The doctoral thesis is focused on the study of methods for Coded Aperture Snapshot Spectral Imaging (CASSI) for the hyperspectral imaging system. The work is divided into eight chapters which discuss the theoretical background, state of the art, objectives, experimental and simulation achieved result and conclusion. The work is based on four papers published in journals and conferences. The formal level of the dissertation level is excellent, it is well-written with a logical structure.

Relevance of the subject of the doctoral thesis

The hyperspectral imaging technique is a rapid development branch that conducts photonics, optics, and image processing. The author of the thesis shows a very good knowledge of the state-of-the-art challenges in this topic with a focus on the CASSI approach. Chapters 1 and 2 give a lot of relevant references to the work of other teams. The main objectives of the thesis are formulated in section 2.4 and contain:

- To modify a hyperspectral camera operating in a broad spectral range covered with up to 100 spectral frames using CASSI approach.
- Design of methods for improvement of the compression ratio of the datacubes of HIS.
- Propose a model of the system for testing the real-life CASSI datacube with respect to IR CASSI imaging.

All these goals have been fulfilled.

Methodology of the work

The working methodology were chosen as adequate for the set of objectives. The experimental part has been based on the previous work of the TOPTEC research center (hyperspectral detection system). The modification of the devices is described in section 3.1.2. Two complementary random masks have been prepared for tests. Chapters 5 and 6 are devoted to data reconstruction and simulation. The hyperspectral imaging extension to the IR region is logically arranged to the chapter 7. The test objects contaminated with a suitable chemical agent have been used and the robustness method versus noise have been studied. An important proof of the methodology is also acceptance of several papers in peer-review conference proceedings and journal papers.

Results of the doctoral thesis

The doctoral thesis has brought important results in the hyperspectral imaging using CASSI approach. These results can be identified as the most important:

- Application of the compressed sensing approach for the HSI detection of the chemical contamination in the field.
- Determination of the limits of CASSI with focus on the high compression ratio.
- Design and realization of two complementary binary mask for differential CASSI method.
- Novel post-processing reconstruction techniques for binary mask and achievement of good results for high compression ratio with relation to the PSNR.

The doctoral thesis was presented in two journal papers (Optics Letters, Applied Optics) and two conference proceedings (Eurasip, OSA proceeding). This work is highly cited by the community (see Google Scholar author profile). Achieved results shows that methodology was selected and applied properly.

Questions to the candidate

- Explain, please, influence of the imaging system aberrations on the quality of results (section 3.1.4, fig.12)? Especially with relation of spatial resolution of the random mask (number of samples, size).
- Clarify, please, dependency between SNR and PSNR in the figs. 25, 26, 27. The difference between the data values, mean and the best fit is not clear to me.
- Which quality parameter (SNR, PSNR, SSIM, SAM, SAM_chem) is the most suitable for the quality assessment for high noise images.

Conclusion

The candidate is familiar with the scientific work, and he has proven his scientific excellence. The dissertation thesis is based on published contributions in recognized international journals and at international conferences. The work is presented logically, interestingly with clear objectives and results. Therefore, the dissertation thesis meets the requirements for independent doctoral level research.

Based on the review above, hereby I do **RECOMMEND** the doctoral thesis for the defense.

Prague, the 31st January 2023

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.

Posudek disertační práce

Název práce: Single – snapshot compressive hyperspectral imaging using coded aperture

Jméno autora: Ing. J. Hlubuček

Jméno oponenta: RNDr. Pavel Galář, Ph.D.

Pracoviště oponenta: Fyzikální ústav AV ČR, Cukrovarnická 10/112, Praha 162 00

Předkládaná práce je věnována tvorbě hyperspektrálních snímků pomocí komprimovaného snímání. Autor k tomuto účelu využívá metodu CASSI a zaměřuje se na její využití v infračervené oblasti na intervalu středních a dlouhých vlnových délek. Autor v práci vychází ze současného stavu poznání v tomto směru a snaží se jej vylepšovat nejen po stránce techniky snímání, ale i postupů pracování a vyhodnocení získaných dat. Většina práce je věnována již zmíněným vylepšením, které jsou testovány ve viditelné oblasti. V poslední kapitole je na simulovaných příkladech popsána aplikovatelnost navržených vylepšení pro již zmíněné IR snímání.

Požadované hodnocení práce:

- a) Práce je věnována velmi aktuálnímu tématu komprimovaného snímání a v mnoha aspektech se autorovi svou vědeckou činností povedlo vylepšit některé stávající parametry dané techniky. Například využitím *zero-order* snímku (viz příložené publikace 2,3,4).
- b) Postup realizace práce a použité metody jsou plně v souladu s vytyčenými cíli. Metody byly nejen vhodně zvoleny, ale i aplikovány. Student navíc projevil značnou míru kreativity v jejich využití. Použitelnost CASSI v IR oblasti student nicméně nakonec ukázal pouze na simulovaných datech.
- c) Prezentované výsledky jsou originální, přínosné pro impaktovaný obor a jsou výsledkem vědecké činnosti předkladatele. K jejich realizaci využíval pouze kameru, která není jeho autorským dílem. Získaná data a případné konstrukční vylepšení systému však již spadají do činnosti předkladatele.
- d) Práce je přehledně zpracována ve formě rešerše, ke které jsou přiloženy autorské články předkladatele. Je psána v anglickém jazyce, čtivě a s minimem jazykových chyb. Zde bych vytknul délku a rozsah rešerše, která by u práce tohoto typu měla být rozsáhlejší. Minimalistické pojetí práce je také vidět například při popisu použité kamery (str. 18), kde je pouze konstatováno, že se skládá z čoček, hranolu a mřížky, aniž by byl vysvětlen význam jednotlivých komponent, přestože funkčnost a přenos kamery je zásadní pro kvalitu získaných výstupů. Ucházející mi přišla i kvalita určitých obrázků a také bych doporučil využívat značky fyzikálních veličin. Používání celých názvů fyzikálních veličin ve vzorcích opravdu nepůsobí dobře (str. 40), stejně jako využívání v textu termínu *Tau* místo τ (kapitola 7).
- e) Publikacním výstupem žadatele jsou 4 impaktované publikace, kde 3 jsou v kvalitních impaktovaných časopisech (Q1 – Q2) podléhajícím recenznímu řízení, což odpovídá publikační činnosti požadované pro daný typ práci.
- f) I přes formální nedostatky práce (viz bod d) žadatel jednoznačně prokázal schopnost samostatné a tvůrčí vědecké činnosti a proto předkládanou práci **doporučuji k obhajobě**.

Otázky oponenta:

- 1) V práci na několika místech uvádíte omezení aplikovatelnosti metody CASSI (omezení na rozsah spektrálního intervalu, hustotu informací atd..). Můžete uvést v jakých situacích, by ji již za současného stavu poznání, bylo možno použít? Případně v jakých situacích očekáváte jejího brzkého využití?
- 2) V závěrečné části práce popisujete aplikovatelnost hyperspektrálního snímání v IR oblasti. Výsledky jsou sice zajímavé, ale k přímé komerční aplikaci ještě nejsou dostatečné. Můžete na základě Vašich zkušeností odhadnout, co vše by bylo nutno vylepšit, aby se tato technologie mohla prosadit?

V Praze, dne 2. 1. 2023

RNDr. Pavel Galář, Ph.D

