

1 Radiomeetriline kalibreerimine

Radiomeetriline kalibreerimine on vajalik protseduur, kui meid huvitab objektidelt tagasipeegeldunud valguses olev spektraalne informatsioon, mida saame kasutada objektide omavaheliseks eristamiseks. Mida väiksemad on spektraalse info erinevused eri objektide vahel, seda olulisem on kalibreerimise täpsus. Korrektseks kalibreerimiseks on vaja aga juba enne droonilendu teha mõningaid ettevalmistusi.

Objektide peegeldusväärtus on igale füüsilisele objektile omane näitaja, mis annab tema kohta palju informatsiooni. Nii on peegeldusväärtus üks enamlevinud väljund kaugseire andmete puhul (Hakala *et al.*, 2018). Peegeldusväärtus näitab kui suurt osa objektile langevast valgusest see tagasi peegeldab (Clemens, 2012). Drooniseire korral pildistades kaamera mingit objekti, saame iga anduri piksli väärtusteks digitaalnumbrid (DN – *digital number*). Radiomeetriline kalibreerimine kujutab endast protsessi, kus DN-id arvutatakse ümber peegeldusväärtuseks.

Kalibreerimine ei pruugi olla väga lihtne, sest tuleb arvesse võtta palju erinevaid tegureid: kaamera omadused ja töötlus, keskkonna- ja valgustingimused (Lebourgeois *et al.*, 2008). Kirjandusest leiab erinevaid näiteid, kus droonipilte on radiomeetriliselt korrigeeritud (Berni *et al.*, 2009; von Bueren *et al.*, 2015) ja kus seda ei ole tehtud: (Lebourgeois *et al.*, 2008; Nebikera *et al.*, 2008) ehk siis on kasutatud andmete analüüsiks otseselt DN-väärtusi ja neid ei ole arvutatud ümber peegeldus väärtusteks.

Drooniseire on võrdlemisi uus valdkond ja erinevalt näiteks satelliitseirest ei ole siinsed radiomeetrilise kalibreerimise protseduurid veel standardiseeritud ning selle läbiviimiseks ja korraldamiseks on palju erinevaid töövooge (Tagle, 2017). Mõned üldistavad tööd on aga siiski ilmunud nii multispektraalsete kaamera (Aasen *et al.*, 2018; Cao *et al.*, 2020; Olsson *et al.*, 2021) kui ka termokaamera (Kelly *et al.*, 2019; Aragon *et al.*, 2020) piltide kalibreerimiseks.

Üks enamlevinumaid ja lihtsamaid meetodeid peegeldusväärtuste saamiseks on *Empirical Line Method* (ELM), mis nõuab väljas suhteliselt vähe lisategevusi ja võimaldab ka hilisemat DN-piltide ümberarvutamist peegeldusväärtusteks (Aasen *et al.*, 2015). Selleks tuleb enne ja pärast lendu pildistada vastavat kalibreerimispaneeli, mille peegeldusväärtused on laboratoorsetes tingimustes mõõdetud ja väga täpselt teada. Üldjuhul on vähemalt üks selline teadaoleva peegeldusväärtusega paneel tootja poolt multispektraalkaameraga kaasa pandud.

Kalibreerimispaneeli tuleb pildistada vahetult enne lendu ja pärast lendu. Enne ja pärast lendu pildid võimaldavad teha järeldusi valgusolude muutmise kohta ja erinevused keskmistada. Pildistamisel tuleb jälgida seda, et:

- kalibreerimispaneel on puhas;
- pildistamise hetkel ei tohi paneelile jääda enda vari ega peegeldused (nt neonvestilt);
- kalibreerimispaneeli pildistamisel on hea matkida seirelennu päikese-kalibreerimispaneeli-kaamera geomeetriat: kalibreerimispaneel peab olema horisontaalne ja vertikaalseid aerofotosid tehes tuleb ka paneeli pildistada vertikaalselt.

Radiomeetriline kalibreerimine võib olla väga keerukas protsess, sest korrigeerida tuleb kaamerast ja andurist tingitud moonutusi ning keskkonnast ja erinevast valgustatusest tingitud erisusi (Aasen *et al.*, 2015; Clemens, 2012). Õnneks on radiomeetriline kalibreerimine päris mitmete programmide töövoogudesse integreeritud ja kaamerate tootjate poolt toetatud. Näiteks MicaSense'i multispektraalsete kaamerate radiomeetriline kalibreerimine on toetatud kahes enamlevinud drooni piltide fotogramm-meetrilist töötlust tegevas tarkvaras (Agisoft Metshape ja Pix4D). Sellisel juhul seisneb

radiomeetriline korrigeerimine suuresti seadmega kaasas oleva kalibreerimispaneeli pildistamisel enne ja pärast lendu ning siis juba programmis mõne lisavõimaluse valimises. Kahjuks pole sellistel puhkudel dokumenteeritud, mida need programmid täpsemalt piltidega teevad. Samuti kasutatakse automaatsel kalibreerimisel üldistatud n-ö pildimaske ja parandeid, mis pole paraku kalibreeritud iga konkreetse anduri jaoks.

Radiomeetrilise korrigeerimise peamised sammud on alljärgnevalt kokku võetud Aasen *et al.* (2015), Clemens (2012) ja Tagle (2017) põhjal:

1. piltide tegemisel on hea vältida kaamerapoolset töötlust, st lülitada välja erinevad pildi kvaliteedi parandamise võimalused;
2. järeltöötuse käigus on hea eemaldada kaamera elektroonika poolt põhjustatud „tumeda voolu“ (*dark current*) ja optikast põhjustatud vinjeti mõju. Mure lahendamisel kasutatakse sobivaid pildimaske või pimevoolu puhul signaalitugevuse lävendit.
3. pilte on vaja korrigeerida päiksekiirguse langemismurga ja valgusolude muutuse suhtes, kasutades selleks valgusanduri (ILS – *Incident Light Sensor*) andmeid. Lisaks arvutatakse piltide DN ümber absoluutse skaalaga kirkuseks, arvestades pildistamise säriaega, ava ja anduri tundlikkust.
4. kalibreerimispaneelide piltide abil leiame lineaarse seose kirkuse ja paneeli peegeldusväärtuse vahel. Kasutades seda koefitsienti, saame kõik pildid teisendada peegeldusväärtusteks.

Selline kalibreerimise protseduur tuleb läbi viia iga spektraalkanali jaoks eraldi.

Nagu arvata võib, leidub radiomeetrilise kalibreerimise kohta veel suur hulk erineva tasemega juhendeid, milles järgnevalt olgu ära toodud vaid paar viidet:

1. Agisoft Metashape ja Pix4D fotogramm-meetrilise tarkvara kodulehtedel on üleval juhendid, kuidas nende tarkvara sees radiomeetrilist kalibreerimist teostada. Üldjuhul tuleb programmis teha mõned valikud ja ülejäänu toimub kasutaja eest varjatult ja automaatselt.
2. Suurimal multispektraalsete kaamerate tootjal, MicaSense-il, on nende kaameratega tehtud piltide kalibreerimiseks juhendid ja Pythoni skriptid üleval Github-is, kus kogu protsess on detailselt ära kirjeldatud.

Üldiselt on mingil tasemel kalibreerimist vaja teha igat sorti kaardistusandmete puhul, sest ainult selle abil saame eri ajahetkel kogutud info omavahel võrreldavaks.

2 Kasutatud kirjandus

- Aasen, H., Burkart, A., Bolten, A., & Bareth, G. (2015). Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 245–259. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.002>
- Aasen, H., Honkavaara, E., Lucieer, A., & Zarco-Tejada, P. (2018). Quantitative Remote Sensing at Ultra-High Resolution with UAV Spectroscopy: A Review of Sensor Technology, Measurement Procedures, and Data Correction Workflows. *Remote Sensing*, 10(7), 1091. <https://doi.org/10.3390/rs10071091>
- Aragon, B., Johansen, K., Parkes, S., Malbeteau, Y., Al-Mashharawi, S., Al-Amoudi, T., Andrade, C. F., Turner, D., Lucieer, A., & McCabe, M. F. (2020). A Calibration Procedure for Field and UAV-Based Uncooled Thermal Infrared Instruments. *Sensors*, 20(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/s20113316>
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suarez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722–738. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457>
- Cao, H., Gu, X., Wei, X., Yu, T., & Zhang, H. (2020). Lookup Table Approach for Radiometric Calibration of Miniaturized Multispectral Camera Mounted on an Unmanned Aerial Vehicle. *Remote Sensing*, 12(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/rs12244012>
- Clemens, S. (2012). *Procedures for Correcting Digital Camera Imagery Acquired by the AggieAir Remote Sensing Platform*. <https://digitalcommons.usu.edu/gradreports/186>
- Hakala, T., Markelin, L., Honkavaara, E., Scott, B., Theocharous, T., Nevalainen, O., Näsi, R., Suomalainen, J., Viljanen, N., Greenwell, C., & Fox, N. (2018). Direct Reflectance Measurements from Drones: Sensor Absolute Radiometric Calibration and System Tests for Forest Reflectance Characterization. *Sensors*, 18(5), 1417. <https://doi.org/10.3390/s18051417>
- Kelly, J., Kljun, N., Olsson, P.-O., Mihai, L., Liljeblad, B., Weslien, P., Klemedtsson, L., & Eklundh, L. (2019). Challenges and Best Practices for Deriving Temperature Data from an Uncalibrated UAV Thermal Infrared Camera. *Remote Sensing*, 11(5), 567. <https://doi.org/10.3390/rs11050567>

- Lebourgeois, V., Bégué, A., Labbé, S., Mallavan, B., Prévot, L., & Roux, B. (2008). Can Commercial Digital Cameras Be Used as Multispectral Sensors? A Crop Monitoring Test. *Sensors*, 8(11), 7300–7322. <https://doi.org/10.3390/s8117300>
- Nebikera, S., Annena, A., Scherrerb, M., & Oeschc, D. (2008). *A Light-weight Multispectral Sensor for Micro Uav – Opportunities for Very High Resolution Airborne Remote Sensing*.
- Olsson, P.-O., Vivekar, A., Adler, K., Garcia Millan, V. E., Koc, A., Alamrani, M., & Eklundh, L. (2021). Radiometric Correction of Multispectral UAS Images: Evaluating the Accuracy of the Parrot Sequoia Camera and Sunshine Sensor. *Remote Sensing*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/rs13040577>
- Tagle, X. (2017). *Study of radiometric variations in Unmanned Aerial Vehicle remote sensing imagery for vegetation mapping*.
- von Bueren, S. K., Burkart, A., Hueni, A., Rascher, U., Tuohy, M. P., & Yule, I. J. (2015). Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: Challenges and limitations. *Biogeosciences*, 12(1), 163–175. <https://doi.org/10.5194/bg-12-163-2015>

