



LETECKÉ MULTISPEKTRÁLNE SNÍMKOVANIE V POĽNOHOSPODÁRSKOM ODVETVÍ

Marco Šmidt
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Patrik Veľký
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This thesis focuses on the possibilities of applying airborne detection in many bands. Possibilities of multispectral detection in direction of use such as animal monitoring or scarecrow placement. In another direction of using thermal imaging for finding temperature anomalies or obtaining information from UAV sensors to improve economics in agriculture, light reflectance, electromagnetic spectrum, comparing satellites and UAVs in agriculture, and vegetation indices. The analysis of the studies was based on simulations and calculations followed by laboratory tests and external measurements. Using certain sensors operating in the corresponding regions of the frequency spectrum, the detection ranges of the drones were used to find the outputs derived from the calculated and simulated values, where a comparison of the studies followed.

Keywords

Temperature anomalies, electromagnetic spectrum, sensors, detection, analysis

1. Úvod

V tomto článku sa budem venovať leteckému snímkovaniu bezpilotných lietadiel. Oboznamovanie s jednotlivými možnosťami, ktoré doposiaľ máme a ako sa naďalej dajú využívať v poľnohospodársky prospech, ako potrebné rýchlo a efektívne vyhodnotiť oblasť, ktorá trpí negatívnymi vplyvmi na plodiny. Výsledky mapovania zahŕňajú nielen typické letecké mapy, ale aj digitálne modely povrchu, termálne mapy a multispektrálne mapy kvôli plodinám. Najmä kombinácia výstupov zo senzorov vytvára jedinečnú aplikáciu leteckého mapovania. Nami získané a preskúmané údaje poskytujú významnú pridanú hodnotu a široké možnosti budúceho využitia.

Taktiež sa zameriam na používanie bezpilotného lietadla v poľnohospodárstve, ktorý poskytuje komplexný obraz polí a plodín. Letecké mapovanie pomocou multispektrálneho senzora môže odhaliť vysychanie rastlín, heterogenitu pôdy a otvoriť nové možnosti hodnotenia obsahu chlorofylu a živín v rastlinách. Zozbieranie a vyhodnotenie údajov, ktoré pomôžu prijímať informovanejšie rozhodnutia a zlepšiť zdravie plodín a tým aj zabezpečiť finančný rast pre poľnohospodárov. Taktiež zahrňam metódy a využitia bezpilotného lietadla a multispektrálnej detekcie v poľnohospodárstve. Vybavenie bezpilotného lietadla je tiež ďalším z faktorov, ktoré súvisia s danou problematikou. Kvôli výbave bezpilotného lietadla senzormi, ktoré sú špecializované na určité miesta ako napríklad termovízia na vyhľadávanie tepelných anomálií na území, technológia LiDAR.

Musíme dbať aj na výsledky analyzovaných štúdií, aká je štatistika a pravdepodobnosť napadnutia plodiny baktériou, hubami alebo inými parazitmi. Ďalej sa zaoberám v akej miere je využívané snímkovanie v RGB, CIR snímkovanie alebo termálne snímkovanie. Aké plodiny sú najviac využívané na testovanie a ktoré sú naopak náchylnejšie na nákazu. Taktiež aký typ bezpilotného lietadla je najviac využívaný pri daných misiách, pričom zviťazila kvadroptéra.

2. Zobrazovanie a prehľad súčasných aplikácií

2.1. Radarové a rádiovlnové metódy na detekciu bezpilotných lietadiel

Pred experimentmi s radarovým spektrom sa uskutočnil výskum špecifických frekvencií, kde sa zisťovali vhodné podmienky na detekciu malých cieľov. Pásmo X bolo zahrnuté ako prvé v dôsledku malého RCS. Toto pásmo sa využíva pri radaroch s kratším dosahom, čiže do 100km.

Vlastnosti cieľa sú dôležité pri detekcii v skutočnom spektre, pretože odrazený signál cieľa sa pred odoslaním naspäť modifikuje do radarového prijímača. Možné zmeny spôsobujú vlastnosti objektu, ktorý bol zachytený. Odraz ovplyvňuje mnoho faktorov ale najrozhodujúcejší je typ materiálu a tvar. Ďalším z mnohých faktorov je vzťah medzi rozmermi cieľa, polarizáciou vlny a vlnovou dĺžkou. Schopnosť odrazu cieľa sa posudzovala podľa RCS nakoľko presné určenie nebolo možné [10].

2.2. Princíp hĺbky prieniku do tkaniva

Svetlo preniknúť do hĺbky biologických tkanív predtým, ako sa absorbuje alebo rozptýli, čo sa následne označuje ako hĺbka prieniku do tkaniva. Závisí od vlnovej dĺžky svetla, ako aj od optických vlastností tkaniva vrátane jeho indexu lomu, absorpcie a rozptylu. Svetlo s dlhšou vlnovou dĺžkou preniká do tkaniva hlbšie ako svetlo s kratšou vlnovou dĺžkou. Svetlo s kratšími vlnovými dĺžkami (menej ako 500 nm) je vo väčšine prípadov rozptýlené [2].

3. Využitie bezpilotných lietadiel v poľnohospodárskom odvetví

Na identifikáciu zdravotného stavu plodín sa využívajú dve metódy.

Zobrazovanie NDVI je prvou metódou, ktorá vyhodnocuje index vodného stresu, čiže mieru nedostatku vody. Hodnotí farbu rastliny a určuje množstvo chlorofylu v jej tele na základe odrazu v blízkej infračervenej oblasti spektra. Pomocou termovíznej kamery, ktorá zachytáva túto časť spektra, je možné identifikovať nedostatok vody a okamžite prijať opatrenia, ako dôjde k väčším škodám v poľnohospodárstve, čo bude mať za následok aj finančnú stratu [1].

Druhou metódou je zobrazovanie CWSI (Indexu vodného stresu plodín), ktorý pracuje na báze odparovania vody z povrchu rastliny a využíva sa na odhad stavu vodného stresu rastliny [1].

Bezpilotné lietadlá môžu poskytovať oba tieto spôsoby snímania pomocou multispektrálnych a RGB senzorov (spolu so špecializovaným softvérom) [1].

Okrem rastlín môžu bezpilotné lietadlá so správnym softvérom monitorovať a analyzovať stav pôdy. Pomocou spektrálnej analýzy sa dokáže určiť presné množstvo hnojiva, ktoré je potrebné na aplikovanie v určitých územiach. Taktiež identifikujú oblasti napadnuté škodcami, vytvoriť plán výsadby a ponúknuť údaje pre vhodné použitie zavlažovacích prostriedkov a odporučiť najlepší čas na zber [1].

Aplikácia chemických prostriedkov bezpilotnými lietadlami na plodiny sa pravdepodobne v blízkej budúcnosti zmení a nahradia ich práškovacie stroje na poliach na stále vykonávanie. Patrí k nim postrekovací systém, čerpadlá a snímače prietoku na presné dávkovanie prášku [1].

Spočítanie plodín za určitý čas je určite najťažším faktorom pri presádzaní plodín. Neskoré vysadenie kukurice alebo sóje, môže zapríčiniť skoré vyvinutie pred prvými jesennými mrazmi, čo má za následok zníženie finančného potenciálu. Rozhodnutie nepristúpiť k opätovnej výsadbe však so sebou prináša aj vlastné riziká. Aj niekoľko semien v riadku, ktoré nevyklíčia, môže mať za následok tisíce rastlín na aker, ktoré sa nevyvinú tak, aby vytvorili zdravú úrodu [3].

Bezpilotné lietadlá nedokážu predvídať, kedy nastanú prvé mrazy ale naopak môžu poskytnúť presnejšie údaje o počte rastlín a zdravotnom stave plodín. Taktiež by sa nemali využívať na vo vysokých teplotách, kvôli batériám v ktorých môže dôjsť k prehriatiu a následnej explózií. Bezpilotné lietadlá zachytávajú a spracúvajú presné údaje dostatočne rýchlo na to, aby pomohli pri rozhodovaní o opätovnej výsadbe. Poskytujú poľnohospodárom informácie, ktoré potrebujú na optimalizáciu výrobného potenciálu [5].

Multispektrálne senzory získavajú údaje, ktoré umožňujú viac než len kategorizáciu rastlín. Táto fotografia môže tiež vkladať informácie do počítačov na rozpoznávanie a počítanie rastlín, čo poľnohospodárom šetrí čas a zlepšuje prognózy produkcie. [4]

V poslednom využití sa drony využívajú aj na rozmiestňovanie plašičov vtákov alebo vo všeobecnosti na monitorovanie zvierat.

3.1. Metódy využívania multispektrálnej detekcie

Existuje množstvo metód multispektrálnej detekcie, ktoré sa využívajú v súčasnosti a stále sa implementujú nové technológie.

3.1.1. *Technológia LiDAR*

Technológia LiDAR inak nazvaná ako detekcia svetla sa vyznačuje schopnosťou ako efektívne zamerať elektrické vedenia s presnosťou. Ďalšou výhodou je, že laserový lúč môže preniknúť cez listy, čo umožňuje vynikajúce zameranie skutočnej topografie v regióne. Okrem toho, keď sa výsledky LiDAR-u spoja s konvenčným leteckým mapovaním, vzniknú geograficky a vizuálne najrozsiahlejšie a najpresnejšie údaje o skúmanej oblasti, aké je doposiaľ možné získať pomocou súčasnej technológie [6].

3.1.2. *Termovízia*

Termovízia je dlho považovaná za užitočný a dôležitý nástroj v multispektrálnom snímkovaní. Bezpilotné lietadlá však túto technológiu naďalej rozvíjajú. Vysokokvalitná kamera, slúžiaca na termovíziu spoločne s bezpilotným lietadlom dôsledne identifikujú aj menšie teplotné anomálie, ktoré bežné pozemné snímání nedokáže identifikovať. To umožňuje rýchlo a efektívne pokryť veľkú oblasť v poľnohospodárstve [8].

3.1.3. *BIM (Modelovanie informácií)*

Integrácia softvéru a leteckého mapovania, ktoré sa spájajú do jedného celku, čo následne tvorí BIM. Spája presnosť leteckých údajov a hodnotu 3D modelov. Toto spojenie otvára možnosti na plánovanie, riadenie a spoluprácu [7].

3.2. *Vhodný výber bezpilotného lietadla AGRAS MG-1S*

Spoločnosť DJI zostavilo bezpilotné lietadlo, ktoré poskytuje komplexný stav na ovládanie letu, stavu postreku a zvyšovania produktivity v poľnohospodárstve. Lietadlo je vybavené dvomi kompatibilnými čerpadlami, ktoré samostatne obsluhujú prednú a zadnú sadu trysiek a umožňujú 3 režimy postreku. Postrek dopredu, dozadu a plný obojstranný. Dron je vybavený novými snímačmi tlaku a prietoku, ktoré monitorujú aké množstvo postreku vychádza von, čo umožňuje dynamické riadenie rýchlosti. Tento postrekovací mechanizmus reaguje na ovládanie mimoriadne presne, čo vedie ku zvýšeniu produktivity [11].



Obrázok 1. AGRAS MG-1S pri postrekovaní plodín

3.3. *Vlastnosti využívania multispektrálnych snímačov*

Multispektrálne senzory majú schopnosť detegovať odrazené svetlo v rôznych farebných spektrách, čo umožňuje zhromažďovať údaje týkajúce sa pôdy a rastlín. Senzory sa taktiež využívajú v diaľkovom prieskume, pretože umožňujú

zbierať geografické informácie ako aj monitorovať zmeny životného prostredia.

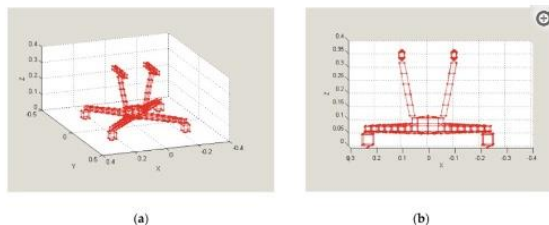
Tieto snímače sú vyrobené na citlivosť fotosyntézy rastlín, čo umožňuje sledovať zdravie rastlín a presne určiť oblasť v ktorej musí byť daná problematika vyriešená.

Vytváranie Indexu pracuje na báze, že počítač spracuje získané údaje zo senzorov a vytvorí rôzne indexy ako napríklad NDVI a NDRE. Tieto indexy poskytujú informácie o stave vegetácie a taktiež pomáhajú pri efektívnom riadení poľnohospodárstva [7].

4. Výpočty a simulácie

Pomocou softvérových nástrojov v programe SuperNEC boli vytvorené počítačové modely predstavujúce kvadroptéru a hexokoptéru, následne boli oba modely doplnené o možné zaťaženie. Napriek tomu sa v posledných fázach vývoja návrhu modelu mierne líšil od skutočných tvarov bezpilotného lietadla. Softvér SuperNEC nebol navrhnutý na navrhovanie objektov takýchto malých rozmerov, čo viedlo k týmto problémom. Následne sa vykonala simulácia, na základe ktorej sa vygenerovali výsledky vyžiarového výkonu a určila sa RCS každého zariadenia. Na získanie čo najpresnejších výsledkov bolo tiež potrebné zabezpečiť, aby boli pre rôzne časti bezpilotného lietadla zvolené správne materiály z hľadiska elektrickej vodivosti. Materiály z ktorých pozostávalo bezpilotné lietadlo boli väčšinou kovy a plasty. Pre motor a základnú dosku, na ktorej je umiestnená celá avionika, bola materiálom meď. Jedna látka sa použila ako elektrický izolant. Ďalší krok zahŕňal meranie vzdialeností medzi žiaričmi signálu a ožarovanými vozidlami v určitej vzdialenosti a nastavenie počtu žiaričov na 3 (čo zabezpečilo všesmerové vyžarovanie) [10].

Figure 7



Obrázok 2. Model kvadroptéry v programe SuperNEC

Do výpočtového matematického programu MATLAB sa dostali všetky vypočítané hodnoty, ktoré tam boli exportované [10].

V samostatnej štúdii bola použitá multispektrálna zobrazovacia technológia na rýchlu identifikáciu obsahu ZEN v kukuričných zrnách. Stanovili sa tri úrovne kontaminácie a použili sa rôzne chemometrické techniky, pričom GA-BPNN sa ukázala ako najúčinnnejšia metóda na kvalitatívnu aj kvantitatívnu detekciu ZEN. Táto technika dosiahla presnosť až 93,33 % pri kvantitatívnej detekcii úrovne kontaminácie. Tento výskum zdôrazňuje význam rýchlych a účinných metód detekcie ZEN a zdôrazňuje rozhodujúcu úlohu strojového učenia a multispektrálnej zobrazovacej technológie pri zabezpečovaní bezpečnosti kukuričných zŕn.

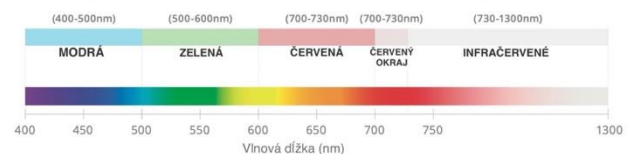
5. Viditeľné a využiteľné spektrum farieb

Viditeľné svetlo a svetlo je len malá časť elektromagnetického spektra. Existujú vlnové dĺžky svetla, ktoré sú podstatne kratšie aj dlhšie ako 400-700 nm, ktoré sú viditeľné pre ľudský zrak.

Existujú dva hlavné prístupy k obnove spektra a obrazu. Tradične sa na rekonštrukciu spektier používa viacero filtrov s rôznymi vlnovými dĺžkami s veľmi malou spektrálnou šírkou, a to analýzou intenzity zaznamenananej detektorom pod každým filtrom. V dôsledku toho sa môže zobrazíť niekoľko fotografií predmetu pri rôznych vlnových dĺžkach. Aby sa však dosiahlo vysoké spektrálne rozlíšenie, tento prístup si vyžaduje veľký počet filtrov s veľmi malou spektrálnou šírkou, čo vedie ku rozdielu medzi priestorovým a spektrálnym rozlíšením.

Druhý prístup rekonštrukcie sa spolieha na náhodné filtre. Táto metodika vyžaduje na získanie vysokého spektrálneho rozlíšenia menej filtrov ako predchádzajúca metóda, ale je založená na podobnej báze.

Nedávno bol navrhnutý jedinečný systém zobrazovania spektra, ktorý kombinuje malý počet multispektrálnych filtrov, čo umožňuje priamejšie generovanie spektrálnych snímok pri konkrétnych vlnových dĺžkach. V tomto scenári nie sú obzvlášť úzke šírky pásma filtrov vždy ideálne, pretože užšie šírky pásma síce poskytujú lepšie spektrálne rozlíšenie, ale zároveň poskytujú menej údajov, pomocou ktorých možno trénovať neuronovú sieť [7].



Obrázok 3. Vlnové dĺžky

Multispektrálne obrazové snímače sú široko používané, pretože dokážu rozoznať kritické detaily, ktoré bežné kamery nedokážu. Napríklad zberom údajov na okraji červeného spektra (RED = 650 nm - 700 nm) a NIR (700 nm - 750 nm) možno vypočítať rozdielový vegetačný index (NDVI) ako $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, ktorý sa potom môže použiť na jednoduché rozlíšenie zdravých a nezdravých rastlín. Okrem toho súčasné komerčné senzory plynov môžu odhadnúť hustotu zmesí plynov len v obmedzených prípadoch, pretože ich spektrálne meranie s jednou vlnovou dĺžkou nedokáže rozlíšiť plyny s vlnovými dĺžkami absorpcie [9].

5.1. Vegetačné indexy

Prístup k údajom o zdravotnom stave vegetácie je dôležitým doplnkom k poľným pozorovaniam a jeho výsledky môžu plodinu vážne ovplyvniť alebo dokonca zničiť. Zatiaľ, čo jednoduchý letecko-bezpilotný prehľad môže poľnohospodárom pomôcť pri vizualizácii možných problémov s ich pozemkami, analýza multispektrálnych snímok môže byť podstatne užitočnejšia pri získavaní poznatkov o variabilite poľí v priebehu mnohých vegetačných období [7].

Termín "vegetačné indexy" sa používa už niekoľko desaťročí. Ide o algoritmy, ktoré porovnávajú percentuálny podiel svetla

zaznamenaného v rôznych spektrálnych pásmach elektromagnetického spektra. Vegetačné indexy používajú poľnohospodári na získanie leteckého pohľadu na svoje poľa, vedci ich pôvodne navrhli ako spôsob hodnotenia odrazu od zemského povrchu na satelitných snímkach. Existuje množstvo vegetačných indexov, ktoré ponúkajú rôzne pohľady na rôzne aspekty farmy a počítajú sa rôznymi spôsobmi [7].

V súčasnosti je možné kombinovať množstvo multispektrálnych fotografií a vytváranie máp vegetačných indexov. Mapy môžu pomôcť odhaliť dôležité detaily o zavlazovaní, pôdnych podmienkach a taktiež o prežití rastlín.

6. Letecké perspektívy

Tradiční poskytovatelia poľnohospodárskych služieb často zahŕňajú satelitné údaje o zdravotnom stave vegetácie do svojho celkového hodnotenia, dostupnosť použiteľných údajov závisí výlučne od druhu odborných služieb, ku ktorým má poľnohospodársky podnik prístup a od priaznivých poveternostných podmienok na to, aby boli satelitné údaje užitočné, je potrebná jasná obloha. Univerzálnou náhradou za zber multispektrálnych údajov, ktoré sú istejšie počas vegetačných období a majú oveľa väčšie rozlíšenie, je využitie bezpilotných lietadiel.

Dôležitá je presnosť leteckých máp, ktorá sa niekedy vyjadruje v termínoch GSD (Ground Sample Distance), čo predstavuje vzdialenosť medzi stredmi dvoch po sebe nasledujúcich mapových pixelov. Rozlíšenie a presnosť sa zvyšujú s menšou GSD. Bepilotné lietadlo môže dosiahnuť len 3 cm/pixel, zatiaľ čo satelit môže dosiahnuť až 30 m/pixel [7].

6.1. Porovnanie medzi satelitnými snímačmi a snímačmi bezpilotných lietadiel

Satelitné snímače - pri snímkovom rozlíšení a kvalite dát sa pri 3-5 metroch naznačuje prítomnosť problémov v danom teréne, ktorý taktiež súvisí s počasím a k strate údajov dochádza vtedy, keď je obloha pokrytá mrakmi.

Prístupnosť satelitu je dobrá ak je počasie ustálené, snímky sa získavajú zo satelitných zdrojov napríklad z USGS EarthExplorer, ktoré sú následne vkladané do systémových programov ako je ArcGis na zobrazovanie indexových máp vegetácie [7].

Snímače bezpilotných lietadiel - pre najefektívnejšie snímkové rozlíšenie a kvalitu dát sa využíva výška letu menšia ako 100 metrov, ktorá poskytuje 3-5 centimetrov s GSD a okolo 5tich centimetrov na presné informácie o mieste a potenciálnom probléme. Zakaždým, keď je vykonávaná misia letu sa získavajú spoľahlivé údaje, ktoré sú následne upravené podľa úrovne slnečného svitu [7].

Úplný prístup k využívaniu bezpilotného lietadla sa sprístupní hneď po tom, ako sa budú prejavovať nadobudnuté zručnosti a znalosť používania a vykresľovania požadovaných a určite po úspešnom ukončení testu.

7. Výsledky štúdií

Bolo zistené, že bezpilotné lietadlá, ktoré sa využívajú na zisťovanie a mapovanie chorôb v plodinách sú prevažne kvadrokoptéry z pomedzi hexakoptéry, oktokoptéry alebo

bezpilotné lietadlo s pevnými krídlami. Vo veľkej časti sa štúdie zameriavajú na zisťovanie baktérií alebo chorôb, ktoré sú tým najdôležitejším problémom pre farmárov. Farmári majú najväčší podiel na využívaní multispektrálnej detekcie. Turistický sektor predstavuje 3% využívania multispektrálneho snímkovania [12].

Kvadrokoptéra bola najčastejšie používanou formou bezpilotného lietadla. Zistenie z výskumu naznačuje, že za to môžu najmä finančné motivácie ale aj manévrovateľnosť. Bepilotné lietadlo sa využíva s väčším doletom alebo súčasne v roji na pokrytie veľkého terénu. Je nevyhnutné vykonať komplexné preskúmanie vzťahu medzi typom bezpilotného lietadla a veľkosťou poľa.

Nákaza baktériou a vädnutie sú dve hlavné kategórie chorôb s veľmi výraznými príznakmi na multispektrálnej snímke. Tieto dve kategórie chorôb boli predmetom analýzy údajov z bezpilotných lietadiel. Okrem toho sa ukázalo, že hlavnými infekciami spôsobujúcimi choroby, ktoré boli zistené bezpilotnými lietadlami, je baktéria a huba. To je v súlade s pozorovaním, že hubové ochorenia sa prejavujú aj navonok. Naznačuje to, že primárnym účelom bezpilotných lietadiel je zisťovanie chorôb s navonok viditeľnými príznakmi ako aj využívanie infračerveného spektra a zisťovanie dôkladných informácií z plodín listov [12].

Hlavnou funkciou, ktorú vykonávajú bezpilotné lietadlá pri zisťovaní chorôb, je kategorizácia, detekcia, monitorovanie, a identifikácia. To znamená, že sa hodnotí zdravotný stav rastliny alebo oblasti poľa v súvislosti so skúmanou chorobou, hoci samotná choroba nemusí byť identifikovaná. Zdá sa, že poľnohospodári sú v každej situácii aktívni, pretože po analýze údajov zozbieraných bezpilotnými lietadlami musia prijať opatrenia. Pozoruhodným zistením je, že podľa 30 % nájdených publikácií môže vedecká komunita využiť údaje pre ďalšie projekty. Pri zisťovaní chorôb sa zhromažďuje široká škála údajov. Možno to pripísať skutočnosti, že výskum v tejto oblasti stále prebieha [12].

8. Záver

Multispektrálne zobrazovanie pomocou bezpilotných lietadiel sa stalo cenným nástrojom v modernom poľnohospodárstve, ktorý poskytuje bezprostredný a vysokoúčinný pohľad na zdravie plodín a umožňuje včasné rozhodovanie založené na údajoch zistených zo snímkov. Táto technológia zachytáva obrazy vo viacerých vlnových dĺžkach elektromagnetického spektra vrátane viditeľného a neviditeľného (infračerveného a ultrafialového) svetla. To umožňuje zistiť jemné zmeny v zdraví rastlín, stres a úroveň živín, ktoré nie sú viditeľné voľným okom. Kombinácia multispektrálnych senzorov namontovaných na bezpilotných lietadlách a pokročilého softvéru na analýzu údajov umožňuje poľnohospodárom prijímať informovanejšie rozhodnutia založené na údajoch, ktoré optimalizujú výnosy plodín, využívanie zdrojov a udržateľnosť. Keďže výzvy v oblasti poľnohospodárstva, ako je rast populácie a zmena klímy, sa neustále zvyšujú, multispektrálne zobrazovanie je pripravené zohrávať čoraz dôležitejšiu úlohu pri umožňovaní efektívnejšej, odolnejšej a ekologickejšej výroby potravín.

Referencie

- [1] MÁM DRON, „www.mamdron.sk,“ Využitie dronov v poľnohospodárstve [Online]. Dostupné na: <https://mamdron.sk/vyuzitie-dronov-v-polnohospodarstve/>
- [2] FEIYAN MA MD, PHD.; MINGZHEN YUAN MD (2023). Multispectral imaging: review of current applications [Online]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039625723000851>
- [3] COPTRZ, „www.coptrz.com,“ The goal of multispectral imagery [Online]. Dostupné na: <https://coptrz.com/blog/14-ways-to-use-multispectral-imagery-in-agriculture/>
- [4] ÚKSÚP, „www.uksup.sk,“ Metodický pokyn ÚKSÚP č. 1/2024 - Postup povoľovania leteckých aplikácií prípravkov na ochranu rastlín a pomocných prípravkov na ochranu rastlín v 1. stupni ochrany prírody a krajiny [Online]. Dostupné na: <https://www.uksup.sk/oor-letecke-aplikacie>
- [5] COMPUTAR, „www.computar.com,“ Multispectral and Hyperspectral imaging impact on agriculture [Online]. Dostupné na: <https://www.computar.com/blog/multispectral-and-hyperspectral-imagings-impact-on-agriculture>
- [6] GEOMAD, „www.geomad.sk,“ LiDAR, ako mení spôsob, akým vidíme svet [Online]. Dostupné na: <https://geomad.sk/lidar-ako-meni-sposob-akym-vidime-svet/>
- [7] DJI, „www.gim-international.com,“ Multispectral imaging drones for agriculture: Crop health data at your disposal [Online]. Dostupné na: <https://www.gim-international.com/files/8d85f099ae4f5ca5aa4406ff956bead0.pdf>
- [8] GEOMAD, „www.geomad.sk,“ Letecké mapovanie [Online]. Dostupné na: <https://geomad.sk/sluzby/letecke-snimkovanie/>
- [9] PRO-DRONY, „www.pro-drony.sk,“ Prevádzka bezpilotných lietadiel (UAV) začína s postupujúcim časom zasahovať do viac odvetví priemyslu i zábavy [Online]. Dostupné na: <https://www.pro-drony.sk/aplikacie/inspekcia-v-polnohospodarstve/>
- [10] FARLIK J.; M.KRATKY. (2019). Multispectral detection of commercial unmanned aerial vehicles [Online]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/7/1517>
- [11] DJI, „www.dji.com,“ AGRAS MG-1S [Online]. Dostupné na: <https://www.dji.com/sk/mg-1s>
- [12] RUBEN CHIN; CAGATAY C.; KASSAHUN A. (2023). Plant disease detection using drones in precision agriculture [Online]. Dostupné na: <https://edepot.wur.nl/590820>