Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra matematiky



Diplomová práce

Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele

Bc. Josef Kořínek

© 2023 ČZU v Praze

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Poděkování**

Rád(a) bych touto cestou poděkoval(a) jméno vedoucího, případně dalších osob, a informace, za co děkujete.

Geoinformatika jako nástroj pro detekci mezerovitosti chmele

**Abstrakt**

Souhrn práce (cca 15 řádek textu).

**Klíčová slova:** Geoinformatika, chmel otáčivý, letecké snímky, analýza obrazu

**Zde napište anglický název práce**

**Abstract**

Anglický překlad českého souhrnu

**Keywords**: klíčová slova anglicky

**Obsah**

[1 Úvod 1](#_Toc128148150)

[2 Teoretická východiska 2](#_Toc128148151)

[2.1 Geoinformatika a její význam pro zemědělství 2](#_Toc128148152)

[2.2 Dálkový průzkum země 2](#_Toc128148153)

[2.2.1 Platformy 3](#_Toc128148154)

[2.2.2 Typy senzorů 3](#_Toc128148155)

[2.3 Metody zpracování a analýzy obrazu 6](#_Toc128148156)

[2.3.1 Raster calculator 6](#_Toc128148157)

[2.3.2 Discrete Wavelet Transformation 7](#_Toc128148158)

[2.3.3 Hougova transformace 7](#_Toc128148159)

[2.3.4 Konvoluční neuronové sítě 7](#_Toc128148160)

[2.4 Knihovny a frameworky pro analýzu obrazu 7](#_Toc128148161)

[2.4.1 Open CV 7](#_Toc128148162)

[2.4.2 Orfeo ToolBox 7](#_Toc128148163)

[2.4.3 Geospatial Data Abstraction Library 7](#_Toc128148164)

[2.4.4 Torch 7](#_Toc128148165)

[2.5 Dostupný software pro zpracování geoinformatických dat 7](#_Toc128148166)

[2.5.1 Quantum GIS 8](#_Toc128148167)

[2.5.2 SAGA GIS 8](#_Toc128148168)

[2.5.3 R 8](#_Toc128148169)

[2.5.4 Pix4d 8](#_Toc128148170)

[2.5.5 Další softwary 8](#_Toc128148171)

[2.6 Přehled používaných metod detekce 8](#_Toc128148172)

[2.6.1 Mezerovitost 8](#_Toc128148173)

[2.6.2 Přehled dostupných metod detekce mezerovitosti v porostu 8](#_Toc128148174)

[3 Cíl práce a metodika 9](#_Toc128148175)

[3.1 Cíl práce 9](#_Toc128148176)

[3.2 Metodika 9](#_Toc128148177)

[3.2.1 Popis použitých metod a nástrojů 9](#_Toc128148178)

[3.2.2 Popis postupu práce 9](#_Toc128148179)

[3.2.3 Vysvětlení, proč byly použity právě tyto metody a nástroje 9](#_Toc128148180)

[5 Vlastní práce 10](#_Toc128148181)

[5.1 Vývoj pluginu 10](#_Toc128148182)

[5.2 Pořízení snímků 10](#_Toc128148183)

[5.3 Složení snímků 10](#_Toc128148184)

[5.4 Zpracování snímků 10](#_Toc128148185)

[6 Výsledky a diskuse 11](#_Toc128148186)

[7 Závěr 12](#_Toc128148187)

[8 Seznam použitých zdrojů 13](#_Toc128148188)

[9 Přílohy 20](#_Toc128148189)

**Seznam obrázků**

Odkazovaný seznam obrázků

**Seznam tabulek**

Odkazovaný seznam tabulek

**Seznam použitých zkratek**

Soupis a definování zkratek (vyskytuje-li se jich v textu velké množství)

# Úvod

Zde jako v každém úvodu bude popsáno čemu se věnuji a proč je to důležité :D.

# Teoretická východiska

Teoretická část se zaměřuje na analýzu současných poznatků týkajících se dané problematiky. V první časti je všeobecně popsán pojem geoinformatika. Druhá část se detailněji zabývá zařízeními a technologiemi, které se používají při dálkovém průzkumu země. Ve třetí a čtvrté části jsou zkoumány vybrané nástroje pro analýzu obrazových dat. V páté části jsou analyzovány některé softwary využívané v geoinformatice. Metody, které se zaměřují na speciální rostliny a které se velmi podobají řešenému problému, jsou v poslední časti.

## Geoinformatika a její význam pro zemědělství

Geoinformatika je obor, který vznikl zkřížením oboru geografie a informatiky. První snahy tyto obory propojit se objevují v 60. letech 20. století [1]. Geoinformatika je v současnosti široce využívány v mnoha oblastech, těmi jsou například průmysl, záchranné služby, medicína, ekologie a environmentální management, vzdělávání, vědecký výzkum a obchod [2]. Geoinformatické systémy se skládají z těchto šesti prvků: lidé, postupy, hardware, software, data a sítě, která všechny prvky propojuje [3].

Geoinformatika hraje důležitou roli v precizním zemědělství [4]. Cyklus precizního zemědělství se skládá z hodnocení stavu, plánování, aplikace a sběru výsledků. V precizním zemědělství jsme svědky dvou přístupů využití geoinformatiky a jejich kombinace. Jeden přístup je založený na vytváření map a druhým je založen na přístupu k datům v reálném čase. [5]

Geoinformační systémy umožňují na základě vytvořených prostorových databází stavět tematické mapy, které odrážejí aktuální stav, studovat dynamiku změn v prostoru a čase, stimulovat vývoj situace, získávat komplexní odhady, konstruovat různé grafy, tabulky a diagramy [2].

Z technického pohledu je aplikace geoinformačních systémů v zemědělství dělena na čtyři úrovně: pro průzkum zemědělských zdrojů, jako nástroj pro analýzu zdrojů, jako nástroj pro řízení zemědělské výroby nebo jako pomocný rozhodovací nástroj pro zemědělský management [6].

V zemědělství se geoinformační systémy využívají k inventarizaci plodin, analýze a prognóze výnosu, identifikaci nutričního a vodního stresu, monitorování zaplavení, monitorování vegetačního krytu, ke sledování agro–meteorologických dat, sledování zamoření škůdci a plevely a k hospodaření s vodními zdroji [7, 8].

## Dálkový průzkum země

Exponenciálně rostoucí zájem o využití dálkového průzkumu země (DPZ) v zemědělství, je zapříčiněn podstatným pokrokem v relevantní technologii, včetně mnoha senzorů a malých platforem, jako jsou nanosatelity nebo bezpilotní letouny a zároveň zavedením cloudových výpočetních služeb a strojového učení [9].

### Platformy

Platformy dálkového průzkumu jsou prostředky, jako jsou bezpilotní letouny, letadla nebo satelity, které mohou nést snímací zařízení pro provádění operací dálkového měření. Výběr vhodné platformy závisí na povaze problému. Satelity mohou s hrubým rozlišením rychle zmapovat rozsáhlou oblast, bezpilotní letecké systémy se pak dobře hodí pro malé a výzkumné aplikace a zpravidla poskytují velmi vysoké prostorové rozlišení.[10]

Výhodou satelitních snímků oproti snímkům pořízených ze vzduchu je, že jsou zpravidla dostupné i retrospektivně, snímky pořízené bezpilotními letouny jsou však přístupné do jedné hodiny, v rámci letadel se pak jedná o řády hodin a čekání na aktuální satelitní snímky může trvat až několik dní [11].

Zatímco nižší satelitní rozlišení při snímkování řádkového porostu (např. vinic), nutně implikuje zprůměrování řadových a meziřádkových informací, vyšší rozlišení poskytované vzdušnými prostředky umožňuje provádět filtraci obrazu za účelem vyloučení informací přicházejících z meziřádku [12].

Bezpilotní letoun, pro který se v češtině také používá zkratka UAV (unmanned aerial vehicle – bezpilotní vzdušný prostředek), je letadlo bez lidské posádky, které je ovládáno na dálku nebo létá samostatně [13]. Bezpilotní letouny mají tu nevýhodu, že mají menší záběr (zpravidla několik km2), a to často kvůli nízkým energetickým rezervám a legislativě potřebné k ochraně letového provozu nebo bezpečnosti a soukromí lidí [14]. Obecně platí, že pro civilní použití, bezpilotní letouny jsou založeny na rotoru tzv. rotokoptéry, na pevné křídle nebo mohou využívat hybridní řešení [15, 16] a mají vzletovou hmotnost od několika desítek gramů až po 25 a více kilogramů [17].

Nejslibnějším přístupem je pak synergie dat ze satelitu a bezpilotních letounů. Tuto synergii můžeme dělit do čtyř kategorií: porovnání dat, víceměřítkové objasnění, kalibrace modelu a fúze dat [18]. Lokalizace ve venkovním prostředí se obecně provádí pomocí GPS [19], avšak v místech s žádným nebo slabým signálem GPS se může k lokalizaci snímků z bezpilotních letounů využít již existujících snímků satelitních [20].

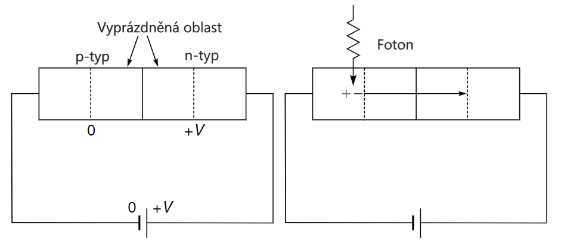
### Typy senzorů

Data přijímaná senzory bezpilotními letouny mohou být spektrální, prostorová a časová. Výběr správného senzoru a dat závisí na povaze aplikace. Například tepelná data jsou vhodná pro identifikaci stavu vody, zatímco spektrální informace představují dobrou možnost pro identifikaci chorob rostlin.[21]

RGB

Optické kamery nebo také kamery „viditelného světla“ pracují v rozsahu vlnových délek 0,4–0,7 µm [22]. Existují dva populární druhy komerčních obrazových senzorů: senzory na principu nábojově vázaných prvků (CCD) a na principu unipolárních tranzistorů (CMOS), přičemž v obou případech je převodníkem fotodioda spřažená s kondenzátorem [23].

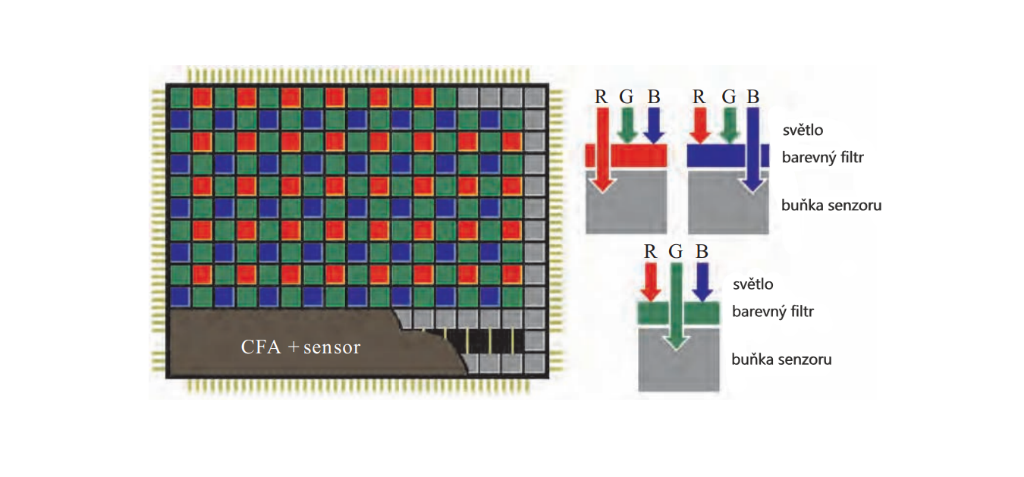
Fotodioda převádí světlo na elektrický signál. Oblast typu p (Obr. 1) fotodiody je pozitivně nabitá a oblast typu n je nabitá negativně [23]. Když světlo dopadá na senzor, některé fotony jsou absorbovány křemíkem, čímž dochází k tvorbě volných elektronů a elektronových děr. Ty jsou unášeny elektrickým polem ke kladně a záporně nabitým oblastím a tvoří elektrický proud, který je úměrný intenzitě světla dopadajícího na fotodiodu [23, 24]. Výstupní napětí fotodiody je pak úměrné součinu intenzity světla obrazu a expozičního času [24].



Obr. 1 **Schéma fungování fotodiody** (přeloženo)[23]

Expozice fotodiody je řízena jejím resetovacím časováním. Řídicí obvod periodicky vysílá resetovací impuls k odstranění náboje nahromaděného v kondenzátoru. Pro expozici, řídicí mechanismus přestane resetovat náboj v kondenzátoru a nově generovaný náboj se naakumuluje. Tento mechanismus řízení expozice se také nazývá elektronická závěrka.[24]

Fotodiody jsou jednoprvkové detektory, což znamená, že aby je bylo možné použít k vytváření obrazů, musí být buď zasazeny do velkých polích detektorů, nebo musí skenovat cíl [23]. Takto vytvořené pole sice bude vytvářet obraz, ale jelikož fotodioda reaguje na celé spektrum dohromady, výsledný obraz postrádá informaci o barvě. Proto se na buňky senzoru (diody) umísťují barevné filtry, viz Obr. 2, které propustí jen danou část spektra. [24]



Obr. 2 **Koncept získávání vizuální informace pomocí barevných filtrů a pole barevných filtrů** (přeloženo)[24]

RGB senzory jsou nejčastěji používané senzory nesené UAV pro aplikace v precizním zemědělství [25]. Typicky se používají pro rozpoznávání rostlin a monitorování defektů a zelenosti rostlin [26]. Jsou relativně levné ve srovnání s ostatními typy a mohou získat obrázky s vysokým rozlišením [25].

Multispektrální a hyperspektrální senzory

Na rozdíl od RGB senzorů, které snímají 3 pásma, multispektrální senzory obecně snímají 5 až 12 pásem a hyperspektrální snímky se skládají z velmi vysokého počtu (stovky až tisíce) užších pásem (5–20 nm, každé) [27].

Multispektrální snímky se využívají např. k měření indexu listové plochy [28] nebo k poloautomatickému mapování plevelů [29]. Hyperspektrální snímky se dále dají v zemědělství využít např. k spektrální diskriminaci plodin a jejich genotypů nebo kvantitativnímu odhadu biofyzikálních a biochemických parametrů [30]. Multispektrální a hyperspektrální senzory jsou často používány i přes jejich vyšší náklady. Kromě ceny je další nevýhodou, obzvláště pak u hyperspektrálních senzorů, nutnost použití složitějších metod předzpracování [25].

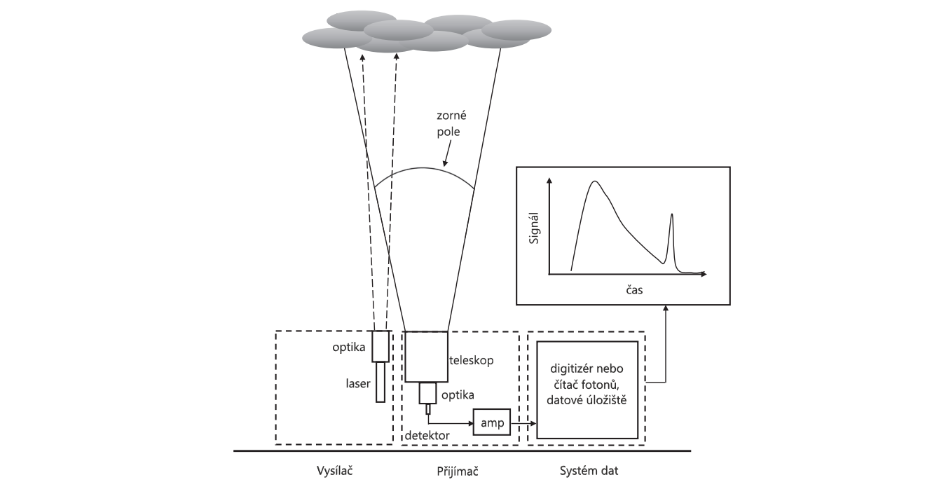
Infračervené senzory

Infračervené snímky mají cenný přínos v DPZ, protože předávají informace, o tepelném chování různých zemin, hornin a stavebních materiálů, které nelze snadno odvodit z jiných forem zobrazení [31]. Za infračervenou část elektromagnetického spektra je obvykle považováno rozmezí 0,7 až 1 000 µm vlnové délky [32]. Zpravidla se tepelné senzory dělí na dvě kategorie dle nutnosti chlazení [33]. Pro snímky z bezpilotních letounů se většinou používají nechlazené senzory a senzory chlazené se hodí k použití u satelitních systémů [34].

V praxi se v zásadě používají tři typy nechlazených senzorů. Detektory na bázi feroelektrického baryum-stroncium titanátu [35, 36] a bolometry z oxidů vanadu (VOx) nebo amorfního křemíku (a-Si) [36, 37]. Infračervené snímky se dají použít pro odhad výnosů, fenotypizaci rostlin, detekci vodního stresu rostlin a detekci chorob rostlin [33].

LiDAR

LiDAR, je zkratka pro "Light Detection and Ranging" (česky "Světelná detekce a měření"). Jedná se o metodu, kterou lze použít na vesmírných, vzdušných i pozemních platformách [38]. Na rozdíl od předešlých metod se jedná o aktivní senzor, což znamená, že vysílá elektromagnetickou vlnu (optické nebo infračervené vlnové délky) a přijímá odražený signál zpět [39]. Vysílač a systém dat (Obr. 3) jsou synchronizovány, a tak z časové prodlevy, za kterou se paprsek letící rychlostí světla odrazí od objektu a přiletí zpět do detektoru, můžeme odvodit vzdálenost objektu [39].



Obr. 3 **Základní LiDARový systém** (přeloženo)[40]

Pro získávání 3D snímků z LiDARu se používá metoda SLAM (Simultaneous Localization and Mapping - Současná Lokalizace a Mapování), ta na základě informací o poloze a naklonění senzoru vytváří bodová mračna [41]. UAV pak mohou pořizovat velice přesné 3D snímky, které se dají použít např. pro hodnocení pšenice [42], pro identifikaci stromů [43] nebo hodnocení vinic [44]. Moderní hyperspektrální LiDAR umožňuje rekonstrukci skutečné barvy snímaného objektu, která má zásadní význam pro ekologické monitorování [45].

SAR (Synthetic Aperture Radar)

Radar (Radio Detection and Ranging – Rádiová detekce a měření) je aktivním senzorem, který emituje elektromagnetické vlnění v rádiové části. Princip snímání je obdobný jako u LiDARu [46] s tím rozdílem, že konvenční radary vysílají v rozsahu od 1 mm do 1 m vlnové délky [47]. Kromě měření vzdálenosti objektu pomocí měření prodlevy, radary dokážou na základě Dopplerova jevu zjistit rychlost jakou se snímaný objekt přibližuje k radaru [48].

Radar se syntetickou clonou (Synthetic aperture radar – SAR) je kombinací radarového hardwaru, zpracování signálu a relativního pohybu, který vytváří fotografické vykreslení stacionárních cílů a zájmových scén [47]. Technologie SAR dle se [26] používá pro identifikaci plodin a mapování krajinného pokryvu [49], extrakci parametrů plodin a zemědělské půdy, jako jsou obsah soli a vlhkost [50] nebo odhad výnosů plodin [51].

## Metody zpracování a analýzy obrazu

Vstupní obraz můžeme považovat za spojitou dvourozměrnou funkci ( *f(x,y)* ), u které hodnoty funkce udávají například jas obrazu v libovolně daném bodě [52]. Digitální obraz je pak dvojrozměrné pole čísel odpovídající změřenému signálu [53]. Prvky tohoto pole se nazývají obrazové prvky (*picture elements*) nebo jednodušeji pixely [52].

Formáty

### Prahování

### Raster calculator

Porovnání různých implementací [54]  
  
Vegetační indexy jsou jedním z nejoblíbenějších produktů aplikací dálkového průzkumu Země pro precizní zemědělství. Používají různé matematické kombinace/transformace alespoň dvou spektrálních pásem elektromagnetického spektra, navržené tak, aby maximalizovaly příspěvek charakteristik vegetace a zároveň minimalizovaly vnější rušivé faktory.[25]  
Některé příklady vegetačních indexů se specifickými aplikacemi v zemědělském sektoru.[8]

### Discrete Wavelet Transformation

O této metodě je zmínka v studii která se zabývá vymezení koruny stromů[55]

### Hougova transformace

Starý článek který vysvětluje princip [56]

### Konvoluční neuronové sítě

Použití v kombinaci s hough transformaci[57] obdobný princip pro detekci mezerovitosti [58]

## Knihovny a frameworky pro analýzu obrazu

V předešlé části jsou popsány nějaké funkce ale programovat to nebudete

### Open CV

### Orfeo ToolBox

Použití v kombinaci s SAGA GIS[59]

### Geospatial Data Abstraction Library

Podrobný popis knihovny gdal[60]

### Torch

Vyžití frameworku pro konvoluční mapy přesná detekce různých typů stromů [61]

## Dostupný software pro zpracování obrazových a geoinformatických dat

Systémů pro zpracování obrazových dat je veliké množství. V závislosti na jejich využití se liší i jejich výhody a nevýhody. V následujících podkapitolách se budu věnovat některým z nich. Systémy budou analyzovány zejména v oblasti strojového zpracování UAV snímků a jejich přístupnosti.

Zajímavý přehled o volně přístupných GIS a knihovnách [62]

### Quantum GIS

Qgis knihovna procesing [63]

### SAGA GIS

Celá kniha o způsobech využití [64]

Článek který využívá software k detekci rostlin révy vinné[65]

Použití u satelitních snímků[66]

### R

### Pix4d

### Photoshop®

### MATLAB®

Octave

### LabView

Do softwaru LabView může být nainstalován modul NI Vision Development, který obsahuje komponentu Vision Assistant, která se velmi snadno používá a dokáže vytvořit LabView kód nebo kód v programovacím jazyce C [67]. Pro základní práci s obrazem můžeme využít i subpaletu funkcí obecnějšího zpracování signálu, která je v základu LabWiev [68]. LabView umožňuje vytvořit libovolné algoritmy například algoritmus pro hledání úseček a kružnic [69].

LabView je vizuální programovací nástroj, který má potenciální využití i v geoinformatice. Například může být využit k navrhnutí dálkově ovládaného systému UAV, který pomocí senzorů získává v reálném čase údaje o stavu letu a zobrazuje je na rozhraní  [70], k navrhnutí systému sloužícího k lokalizaci [71] nebo systému pro sběr [72]

### Další softwary

BioLeaf[73] byl použit pro leaf area index[28]

## Přehled používaných metod detekce

### Mezerovitost

Dnešní praxí v české republice je zpracování mezerovitosti ručně

### Přehled dostupných metod detekce mezerovitosti v porostu

Za využití umělé inteligence u citronů [74] využívají program YOLOv3 [75]

Taktéž využití učících se algoritmů[58]

# Cíl práce a metodika

## Cíl práce

Cílem práce je navrhnout plugin do geoinformačního systému, který umožní automatickou detekci mezerovitosti chmele.

## Metodika

### Popis použitých metod a nástrojů

### Popis postupu práce

### Vysvětlení, proč byly použity právě tyto metody a nástroje

# Vlastní práce

## Vývoj pluginu

## Pořízení snímků

Umístění

Obsah obrázku mapa

Popis byl vytvořen automaticky

Obr. Lokace

Období

## Složení snímků

## Zpracování snímků

# Výsledky a diskuse

# Závěr

Text…

# Seznam použitých zdrojů

[1] GOODCHILD, Michael F. Spatial analysts and GIS practitioners. *Journal of Geographical Systems* [online]. 2000, **2**(1), 5–10. ISSN 1435-5930. Dostupné z: doi:10.1007/s101090050022

[2] ANDREEV, D v. The use of GIS technology in modern conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2020, **421**(4), 042001. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/421/4/042001

[3] LONGLEY, P.A., M.F. GOODCHILD, D.J. MAGUIRE a D.W. RHIND. *Geographic Information Science and Systems*. 4. vyd. B.m.: Wiley, 2015. ISBN 978-1-119-03130-7.

[4] RILWANI, M L a Isi A IKHUORIA. Precision Farming with Geoinformatics: A New Paradigm for Agricultural Production in a Developing Country. *Transactions in GIS* [online]. 2006, **10**(2), 177–197. ISSN 1361-1682. Dostupné z: doi:10.1111/j.1467-9671.2006.00252.x

[5] BILL, Ralf, Edward NASH a Görres GRENZDÖRFFER. GIS in Agriculture. In: *Springer Handbook of Geographic Information* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 461–476. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-72680-7\_24

[6] ZHANG, Fei a Nengxiu CAO. Application and Research Progress of Geographic Information System (GIS) in Agriculture. In: *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)* [online]. B.m.: IEEE, 2019, s. 1–5. ISBN 978-1-7281-2116-1. Dostupné z: doi:10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820476

[7] GEBEYEHU, Marshet Nigatu. Remote Sensing and GIS Application in Agriculture and Natural Resource Management. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* [online]. 2019, **19**(2). ISSN 25721119. Dostupné z: doi:10.19080/IJESNR.2019.19.556009

[8] SHANMUGAPRIYA, P., S. RATHIKA, T. RAMESH a P. JANAKI. Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* [online]. 2019, **8**(01), 2270–2283. ISSN 23197692. Dostupné z: doi:10.20546/ijcmas.2019.801.238

[9] WEISS, M., F. JACOB a G. DUVEILLER. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2020, **236**, 111402. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2019.111402

[10] JAFARBIGLU, Hamid a Alireza POURREZA. A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2022, **197**, 106844. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2022.106844

[11] KAKOOEI, Mohammad a Yasser BALEGHI. Fusion of satellite, aircraft, and UAV data for automatic disaster damage assessment. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2017, **38**(8–10), 2511–2534. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2017.1294780

[12] MATESE, Alessandro, Piero TOSCANO, Salvatore DI GENNARO, Lorenzo GENESIO, Francesco VACCARI, Jacopo PRIMICERIO, Claudio BELLI, Alessandro ZALDEI, Roberto BIANCONI a Beniamino GIOLI. Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. *Remote Sensing* [online]. 2015, **7**(3), 2971–2990. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs70302971

[13] HAMAN, Tomáš. *Přehled bezpilotních letounů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[14] CRACKNELL, Arthur P. UAVs: regulations and law enforcement. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2017, **38**(8–10), 3054–3067. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2017.1302115

[15] DAINELLI, Riccardo, Piero TOSCANO, Salvatore Filippo DI GENNARO a Alessandro MATESE. Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicle Forest Remote Sensing—A Systematic Review. Part I: A General Framework. *Forests* [online]. 2021, **12**(3), 327. ISSN 1999-4907. Dostupné z: doi:10.3390/f12030327

[16] OLSON, Daniel a James ANDERSON. Review on unmanned aerial vehicles, remote sensors, imagery processing, and their applications in agriculture. *Agronomy Journal* [online]. 2021, **113**(2), 971–992. ISSN 0002-1962. Dostupné z: doi:10.1002/agj2.20595

[17] RAPARELLI, Elisabetta a Sofia BAJOCCO. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2019, **40**(24), 9070–9083. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2019.1569793

[18] ALVAREZ-VANHARD, Emilien, Thomas CORPETTI a Thomas HOUET. UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote Sensing* [online]. 2021, **3**, 100019. ISSN 26660172. Dostupné z: doi:10.1016/j.srs.2021.100019

[19] ASLAN, Muhammet Fatih, Akif DURDU, Kadir SABANCI, Ewa ROPELEWSKA a Seyfettin Sinan GÜLTEKIN. A Comprehensive Survey of the Recent Studies with UAV for Precision Agriculture in Open Fields and Greenhouses. *Applied Sciences* [online]. 2022, **12**(3), 1047. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12031047

[20] GOFORTH, Hunter a Simon LUCEY. GPS-Denied UAV Localization using Pre-existing Satellite Imagery. In: *2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* [online]. B.m.: IEEE, 2019, s. 2974–2980. ISBN 978-1-5386-6027-0. Dostupné z: doi:10.1109/ICRA.2019.8793558

[21] RADOGLOU-GRAMMATIKIS, Panagiotis, Panagiotis SARIGIANNIDIS, Thomas LAGKAS a Ioannis MOSCHOLIOS. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks* [online]. 2020, **172**, 107148. ISSN 13891286. Dostupné z: doi:10.1016/j.comnet.2020.107148

[22] AUSTIN, Reg. *Unmanned Aircraft Systems* [online]. B.m.: Wiley, 2010. ISBN 9780470058190. Dostupné z: doi:10.1002/9780470664797

[23] REES, W G. *Physical Principles of Remote Sensing*. B.m.: Cambridge University Press, 2013. ISBN 9781107004733.

[24] LUKAC, R. *Single-Sensor Imaging: Methods and Applications for Digital Cameras*. B.m.: CRC Press, 2018. ISBN 9781420054538.

[25] TSOUROS, Dimosthenis C., Stamatia BIBI a Panagiotis G. SARIGIANNIDIS. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information* [online]. 2019, **10**(11), 349. ISSN 2078-2489. Dostupné z: doi:10.3390/info10110349

[26] LIU, Jia, Jianjian XIANG, Yongjun JIN, Renhua LIU, Jining YAN a Lizhe WANG. Boost Precision Agriculture with Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Edge Intelligence: A Survey. *Remote Sensing 2021, Vol. 13, Page 4387* [online]. 2021, **13**(21), 4387 [vid. 2023-02-09]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/RS13214387

[27] ADÃO, Telmo, Jonáš HRUŠKA, Luís PÁDUA, José BESSA, Emanuel PERES, Raul MORAIS a Joaquim SOUSA. Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sensing* [online]. 2017, **9**(11), 1110. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs9111110

[28] NAVEED TAHIR, Muhammad, Yubin LAN, Yali ZHANG, Yingkuan WANG, Faisal NAWAZ, Muhammad ARSLAN AHMED SHAH, Asim GULZAR, Waqar SHAHID QURESHI, Syed MANSHOOR NAQVI a Syed ZAIGHAM ABBAS NAQVI. Real time estimation of leaf area index and groundnut yield using multispectral UAV. *International Journal of Precision Agricultural Aviation* [online]. 2018, **1**(1), 1–6. ISSN 2576-3628. Dostupné z: doi:10.33440/j.ijpaa.20200301.70

[29] STROPPIANA, Daniela, Paolo VILLA, Giovanna SONA, Giulia RONCHETTI, Gabriele CANDIANI, Monica PEPE, Lorenzo BUSETTO, Mauro MIGLIAZZI a Mirco BOSCHETTI. Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data. *International Journal of Remote Sensing* [online]. 2018, **39**(15–16), 5432–5452. ISSN 0143-1161. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1441569

[30] SAHOO, Rabi, Shibendu RAY a Manjunath R. Hyperspectral remote sensing of agriculture. *Current science*. 2015, **108**, 848–859.

[31] CAMPBELL, J B, R H WYNNE a V A THOMAS. *Introduction to Remote Sensing*. B.m.: Guilford Publications, 2022. ISBN 9781462549405.

[32] PRAKASH, Anupma. Thermal remote sensing: concepts, issues and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2000, **33**(B1; PART 1), 239–243. ISSN 0256-1840.

[33] MESSINA, Gaetano a Giuseppe MODICA. Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook. *Remote Sensing* [online]. 2020, **12**(9), 1491. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12091491

[34] SHENG, Hu, Haiyang CHAO, Cal COOPMANS, Jinlu HAN, Mac MCKEE a YangQuan CHEN. Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications. In: *Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications* [online]. B.m.: IEEE, 2010, s. 38–43. ISBN 978-1-4244-7101-0. Dostupné z: doi:10.1109/MESA.2010.5552031

[35] BERATAN, Howard R., Charles M. HANSON a Edward G. MEISSNER. Low-cost uncooled ferroelectric detector. In: Randolph E. LONGSHORE, ed. [online]. 1994, s. 147. Dostupné z: doi:10.1117/12.189240

[36] SIZOV, F. F. IR region challenges: Photon or thermal detectors? Outlook and means. *Semiconductor Physics Quantum Electronics and Optoelectronics* [online]. 2012, **15**(3), 193–199. ISSN 15608034. Dostupné z: doi:10.15407/spqeo15.03.193

[37] ROGALSKI, Antoni. *Infrared and Terahertz Detectors, Third Edition* [online]. B.m.: CRC Press, 2019. ISBN 9781315271330. Dostupné z: doi:10.1201/b21951

[38] DONG, Pinliang a Qi CHEN. *LiDAR Remote Sensing and Applications* [online]. Boca Raton, FL : Taylor & Francis, 2018.: CRC Press, 2017. ISBN 9781351233354. Dostupné z: doi:10.4324/9781351233354

[39] MCMANAMON, P F. *LiDAR Technologies and Systems* [online]. B.m.: SPIE Press, 2019. ISBN 9781510625396. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=cIIIwAEACAAJ

[40] GIMMESTAD, Gary G. a David W. ROBERTS. *Lidar Engineering* [online]. B.m.: Cambridge University Press, 2023. ISBN 9781139014106. Dostupné z: doi:10.1017/9781139014106

[41] NÜCHTER, Andreas. *3D Robotic Mapping* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-89883-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-89884-9

[42] CHRISTIANSEN, Martin Peter, Morten Stigaard LAURSEN, Rasmus Nyholm JØRGENSEN, Søren SKOVSEN a René GISLUM. Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying. *Sensors 2017, Vol. 17, Page 2703* [online]. 2017, **17**(12), 2703 [vid. 2023-02-09]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/S17122703

[43] HARIKUMAR, Aravind, Francesca BOVOLO a Lorenzo BRUZZONE. A Local Projection-Based Approach to Individual Tree Detection and 3-D Crown Delineation in Multistoried Coniferous Forests Using High-Density Airborne LiDAR Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* [online]. 2019, **57**(2), 1168–1182. ISSN 0196-2892. Dostupné z: doi:10.1109/TGRS.2018.2865014

[44] COMBA, L., A. BIGLIA, D. RICAUDA AIMONINO, C. TORTIA, E. MANIA, S. GUIDONI a P. GAY. Leaf Area Index evaluation in vineyards using 3D point clouds from UAV imagery. *Precision Agriculture* [online]. 2020, **21**(4), 881–896. ISSN 1385-2256. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-019-09699-x

[45] WANG, Tengfeng, Xiaoxia WAN, Bowen CHEN a Shuo SHI. True-Color Reconstruction Based on Hyperspectral LiDAR Echo Energy. *Remote Sensing* [online]. 2021, **13**(15), 2854. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs13152854

[46] PEEBLES, P Z. *Radar Principles* [online]. B.m.: Wiley, 1998. ISBN 9780471252054. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=PVSzQgAACAAJ

[47] RICHARDS, Mark A., James A. SCHEER a William A. HOLM. *Principles of modern radar: Basic principles* [online]. B.m.: Institution of Engineering and Technology, 2010. ISBN 9781613531488. Dostupné z: doi:10.1049/sbra021e

[48] LEVANON, Nadav a Eli MOZESON. *Radar Signals* [online]. 2004. Dostupné z: doi:10.1002/0471663085

[49] NDIKUMANA, Emile, Dinh HO TONG MINH, Nicolas BAGHDADI, Dominique COURAULT a Laure HOSSARD. Deep Recurrent Neural Network for Agricultural Classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. *Remote Sensing* [online]. 2018, **10**(8), 1217. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10081217

[50] LYALIN, Konstantin S., Alexey A. BIRYUK, Alexey Y. SHEREMET, Vadim K. TSVETKOV a Dmitry v. PRIKHODKO. UAV synthetic aperture radar system for control of vegetation and soil moisture. In: *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* [online]. B.m.: IEEE, 2018, s. 1673–1675. ISBN 978-1-5386-4339-6. Dostupné z: doi:10.1109/EIConRus.2018.8317425

[51] LIU, Chang-an, Zhong-xin CHEN, Yun SHAO, Jin-song CHEN, Tuya HASI a Hai-zhu PAN. Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. *Journal of Integrative Agriculture* [online]. 2019, **18**(3), 506–525. ISSN 20953119. Dostupné z: doi:10.1016/S2095-3119(18)62016-7

[52] MCANDREW, Alasdair. An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, 2004. 2004.

[53] LIU, J G a P J MASON. *Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications*. B.m.: Wiley, 2016. ISBN 9781118724187.

[54] NETZEL, P. a J. SLOPEK. Comparison of different implementations of a raster map calculator. *Computers & Geosciences* [online]. 2021, **154**, 104824. ISSN 00983004. Dostupné z: doi:10.1016/j.cageo.2021.104824

[55] SAFONOVA, Anastasiia, Yousif HAMAD, Egor DMITRIEV, Georgi GEORGIEV, Vladislav TRENKIN, Margarita GEORGIEVA, Stelian DIMITROV a Martin ILIEV. Individual Tree Crown Delineation for the Species Classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images. *Drones* [online]. 2021, **5**(3), 77. ISSN 2504-446X. Dostupné z: doi:10.3390/drones5030077

[56] DUDA, Richard O. a Peter E. HART. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM* [online]. 1972, **15**(1), 11–15. ISSN 0001-0782. Dostupné z: doi:10.1145/361237.361242

[57] BAH, Mamadou Dian, Adel HAFIANE a Raphael CANALS. CRowNet: Deep Network for Crop Row Detection in UAV Images. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 5189–5200. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2019.2960873

[58] PANG, Yan, Yeyin SHI, Shancheng GAO, Feng JIANG, Arun-Narenthiran VEERANAMPALAYAM-SIVAKUMAR, Laura THOMPSON, Joe LUCK a Chao LIU. Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2020, **178**, 105766. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105766

[59] GAŠPAROVIĆ, Mateo, Mladen ZRINJSKI, Đuro BARKOVIĆ a Dorijan RADOČAJ. An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2020, **173**, 105385. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105385

[60] WARMERDAM, Frank. The Geospatial Data Abstraction Library. In: *Open Source Approaches in Spatial Data Handling* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, s. 87–104. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-74831-1\_5

[61] ONISHI, Masanori, Shuntaro WATANABE, Tadashi NAKASHIMA a Takeshi ISE. Practicality and Robustness of Tree Species Identification Using UAV RGB Image and Deep Learning in Temperate Forest in Japan. *Remote Sensing* [online]. 2022, **14**(7), 1710. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs14071710

[62] VATSAVAI, Ranga R., Thomas E. BURK, Steve LIME, Marco HUGENTOBLER, Andreas NEUMANN a Christian STROBL. Open-Source GIS. In: *Springer Handbook of Geographic Information* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 579–595. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-72680-7\_30

[63] GRASER, Anita a Victor OLAYA. Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2015, **4**(4), 2219–2245. ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi4042219

[64] BÖHNER, Jürgen, Keith MCCLOY a Josef STROBL. *SAGA - Analysis and Modelling Applications*. 2006.

[65] SANTAGA, Francesco a Marco VIZZARI. Detection and analysis of vine trees from UAV images using open-source and free GIS software. In: *26th Geographic Information Systems Conference and Exhibition “GIS ODYSSEY 2019”*. 2019, s. 266.

[66] LEMENKOVA, Polina. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness. *Contemporary Agriculture* [online]. 2021, **70**(1–2), 67–75. ISSN 2466-4774. Dostupné z: doi:10.2478/contagri-2021-0011

[67] KWON, K S a S READY. *Practical Guide to Machine Vision Software: An Introduction with LabVIEW*. B.m.: Wiley, 2014. ISBN 9783527684120.

[68] VLACH, J. Základy zpracování obrazu v prostředí LabView. *Automatizace*. 2009, **52**, 40–41.

[69] VLACH, Jaroslav. Hledání úseček a kružnic s využitím Houghovy transformace při zpracování obrazu v LabView. *Automa*. 2011.

[70] ZHANG, Kun, Tiemin ZHANG, Yiyong LIAO, Xiaolin ZHUANG, Shenghua LI a Yubin LAN. Remote control unmanned aerial vehicle test system based on Labview. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* [online]. 2015, **31**, 11–16 [vid. 2023-02-26]. ISSN 10026819. Dostupné z: doi:10.11975/J.ISSN.1002-6819.2015.Z2.002

[71] HUIQIN, Jia a Shi JIANWEN. Application of GIS in the personnel positioning software. In: *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)* [online]. B.m.: IEEE, 2012, s. 661–664. ISBN 978-1-4673-0089-6. Dostupné z: doi:10.1109/CSAE.2012.6273038

[72] YUAN, Wenan, Jiating LI, Madhav BHATTA, Yeyin SHI, P. BAENZIGER a Yufeng GE. Wheat Height Estimation Using LiDAR in Comparison to Ultrasonic Sensor and UAS. *Sensors* [online]. 2018, **18**(11), 3731. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s18113731

[73] MACHADO, Bruno Brandoli, Jonatan P M ORUE, Mauro S ARRUDA, Cleidimar v SANTOS, Diogo S SARATH, Wesley N GONCALVES, Gercina G SILVA, Hemerson PISTORI, Antonia Railda ROEL a Jose F RODRIGUES-JR. BioLeaf: A professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2016, **129**, 44–55. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2016.09.007

[74] AMPATZIDIS, Yiannis a Victor PARTEL. UAV-Based High Throughput Phenotyping in Citrus Utilizing Multispectral Imaging and Artificial Intelligence. *Remote Sensing* [online]. 2019, **11**(4), 410. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs11040410

[75] REDMON, Joseph a Ali FARHADI. YOLOv3: An Incremental Improvement [online]. 2018 [vid. 2023-02-09]. Dostupné z: doi:10.48550/arxiv.1804.02767

# 

# Přílohy

Odkazovaný seznam příloh