

Gábor Dénes Egyetem

Dróntechnológia és Képfeldolgozás Tudományos Műhely

**GOMBAKÖRÖK NON-INVAZIV VIZSGÁLATÁNAK
LEHETŐSÉGEI DRÓNOKFELVÉTEL ALAPÚ MI
ALKALMAZÁSÁVAL**

TDK dolgozat

Szerző: Balogh János

Konzulens: Dr. Kozma-Bognár Veronika

Budapest
2024

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzés.....	3
2. Irodalmi áttekintés	5
3. Anyagok és módszerek	7
3.1. Gombakörök bemutatása.....	7
3.2. Drón és kamerarendszer bemutatása	13
3.3. A gombakörök felvételezésének sajátosságai	14
3.4. Felvételezés alkalmi és fontosabb események	25
3.5. Ortofotók készítése.....	26
3.6. Gombakörök felismerése MI segítségével	30
4. Eredmények és értékelésük.....	42
4.1. Felvételezési tapasztalatok	42
4.2. MI tanítás eredményei	42
5. Összefoglalás	46
6. Irodalomjegyzék	48

1. Bevezetés és célkitűzés

A gombák alapvető fontosságúak az ökoszisztémák működésében és az emberi élet különböző területein. Kulcsszerepet játszanak az anyagok körforgásában, mivel lebontják az elhalt növényi és állati maradványokat, ezáltal tápanyagokat szabadítanak fel a talajban, amelyeket a növények felhasználhatnak. Emellett szimbiózisban élnek számos növény gyökerével (mikorrhiza), segítve azok víz- és tápanyagfelvételét. Az emberi társadalomban a gombák kiemelkedő szerepet töltenek be az élelmiszeriparban, a gyógyszeriparban, valamint a biotechnológiában. Ugyanakkor bizonyos gombák károsak is lehetnek, például betegségeket okozhatnak növényekben, állatokban és emberekben. Összességében a gombák nélkülözhetetlenek a természet egyensúlyának fenntartásában és az emberi élet számos területén [1].

A témaválasztás személyes élményekből fakad, 2010 óta NÉBIH regisztrált gombaszakellenőr vagyok, ami 14 év szakmai tapasztalatot jelent. Érdeklődésem a gombák iránt az idők során fokozódott, ezért elvégeztem a Magyar Mikológiai Társaság 2 éves felsőfokú gombaismereti tanfolyamát is. A rétek, legelők gombavilága kevésbé változatos, mint az erdei, de sok élménnyel ajándékozta meg a természetben oda látogatót.

A réteken való gombászás közben sokszor felmerült bennem, hogy felülnézetből mennyire lehetne segíteni a gombakeresést. A gombakörök régóta ismert és leírt jelenségek, kíváncsi voltam, hogy a légifelvelelés milyen eszközökkel tudja segíteni a nagyobb találati arány elérését, a gombaszegény területek, területrészek elkerülését. Szerettem volna az adatgyűjtéssel és felvételezéssel minél több időt a természetben tölteni.

A dolgozat célja, hogy a légi és terepi felvételezések feldolgozásával a réteken, legelőkön megjelenő gombaköröket automatikusan felismerjük mesterséges intelligencia alkalmazásával. A gombakörök az év minden időszakában jelen vannak, időnként láthatóak a környező növényzet eltérései miatt. Ezek az eltérések légifelvelelés segítségével jól vizsgálhatóak. A feldolgozás eredményeképpen konkrét ortofotót kapunk arról, hogy a vizsgált területen hol érdemes gombát keresni és gyűjteni.

A dolgozat célkitűzése:

- Gombakörök felvételezése
- Gombakörök felvételezésére alkalmas általános módszertan kidolgozása
- Egy adott terület periodikus felvételezése egy teljes termőszezonon (év) keresztül
- Képek gyűjtése és megfelelő címkézése a tanításhoz
- Mesterséges intelligencia betanítása a gombakörökre, a tanítás jóságának vizsgálata, lehető legjobb felismerés elérése.

A munkám során a következő kérdésekre is keresem a válaszokat:

- A gombakörök légifelvételezés segítségével jobban elkülöníthető-e, mint a földfelszínről?
- A gombakörökön lényegesen nagyobb a termőtest találati aránya termő időszakban?
- A gombakörök egész évben felvételezhetőek?

2. Irodalmi áttekintés

A gombakörökkel kapcsolatos nemzetközi szakirodalom tanulmányozása során azt tapasztaltam, hogy ez egy kevésbé kutatott terület.

Giuliano Bonanomi és munkatársai az *Agaricus campestris* gombakörök hatásait vizsgálta egy közép-olaszországi fajgazdag mészkedvelő gyeppen. A gombakörök drámai módon megváltoztatták a növényfajok térbeli eloszlását, eltüntetve a legtöbb eredeti faj jelenlétét a gomba által érintett területen. A növényi biomasza és fajgazdagság az érintett zónákon kívül volt a legmagasabb, míg a gombafront területén volt a legalacsonyabb. A talaj tulajdonságai jelentősen változtak a gomba terjedése nyomán: csökkent a szerves C- és N-tartalom, nőtt az enzimaktivitás, a mikrobiális profilok, a hidrofóbia és a vezetőképesség. A vizsgálat igazolta, hogy a gombakörök terjedése csökkenti az élő növényzet borítását, és új élőhelyeket hoz létre rövid életű fajok számára. [7]

Maurizio Zotti és munkatársai *Agaricus arvensis* gombaköröket formáló gomba hatásait vizsgálta egy fajgazdag mediterrán gyeppen. Az eredmények szerint a boszorkánykörök hullámszerű terjedése csökkentette a növények, gombák és baktériumok helyi diverzitását, ami a legtöbb fajra kedvezőtlen hatással volt. Az élő növényeket rövid életű, gyorsan növekvő fajok váltották fel. Emellett a gombák és baktériumok közösségeiben is jelentős változások mutatkoztak, például a *Burkholderia* baktériumok és *Trichoderma* gombák elterjedése az előrenyomuló micélium hatására. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a gombaköröket formáló gombák jelentős hatást gyakorolnak a gyepek diverzitására és összetételére. [8]

Teresa Marí és munkatársai a féltermészetes montán gyepek talajgombáinak közösségét vizsgálta az Keleti Elő-Pireneusok hat gombakörében. A gyűrűk belső és külső területei között jelentős különbségek voltak a talajgombák összetételében: a gyűrűk belsejében az Agaricales, míg kívül a Pleosporales és Eurotiales gombák voltak gyakoribbak. A gyűrűk belsejében magasabb volt a gombák diverzitása, és számos szaprofita vagy feltételezhetően szaprofita taxon (pl. *Clavaria*, *Psathyrella*, *Tricholoma*, *Amanita*, *Lycoperdon*) kapcsolódott hozzájuk. Az eredmények kiemelik a kulcsfontosságú fajok szerepét a gombaközösségek struktúrájában és a gyepek ökoszisztémák megőrzésében. [9]

Nicole Salvatori és munkatársai egy új matematikai modellel sikeresen szimulálta a gombakör alakját és a micélium térbeli elrendeződését, kiemelve, hogy a gombák önkorlátozó vegyületeinek felhalmozódása alakítja ki a körformát. A pozitív hatások esetében a növekedést serkentő anyagok kibocsátása szükséges a vegetáció jellemző mintázatainak létrejöttéhez. A modell eredményei irányt mutatnak a jövőbeli kísérletekhez és terepmunkákhoz. [10]

Gordon Rutter rövid történeti áttekintést nyújt a gombakörökkel kapcsolatban majd a gombakörök három fő típusát különbözteti meg hatásuk alapján a füre és a környező növényzetre: az első típusnak nincs hatása a növényzetre, csak a gombák gyűrűje látható; a második típus sötétebb és magasabb fűvel jár, ahol a gombák a gyűrű külső szélén jelennek meg; a harmadik típus a növényzet károsodását okozza, kopár vagy sérült foltokkal és buja növekedésű szegéllyel. A gombakörök keletkezése a gombaspórából indul, amely minden irányba növekvő micéliumot hoz létre. A micélium enzimek bontják le a talaj tápanyagait, serkentve a növényzet növekedését az aktívan növekvő peremen. A kopár foltok a vízáteresztés hiánya, toxinok képződése vagy tápanyaghiány miatt alakulnak ki. A gyűrűk alakja idővel módosulhat, és a megfelelő időjárás hiányában évekig nem jelennek meg gombák. [11]

Marina Allegrezza és munkatársai az Appenninek 300 km-es térségében vizsgálta a gombakörök típusait, eloszlását és környezeti tényezőkkel való összefüggéseit. Az 1163 azonosított gombakör között az ívek voltak a leggyakoribbak, míg a körök ritkábbak. Az ívek általában meredekebb lejtőkön, a körök pedig síkabb területeken fordultak elő, 546–2148 m tengerszint feletti magasságban, 3,4–12,7°C közötti hőmérsékleten és 1100–1300 mm éves csapadéknál. Az ívek mérete átlagosan 18,8 m volt, míg a körök kisebbek, 11,7 m-esek. Az eredmények szerint a gombakörök fontos szerepet játszhatnak a növényi és mikrobiális diverzitás fenntartásában, és további kutatások szükségesek a gombafajok azonosítására és a körformák kialakulásának pontos megértésére. **Ez az első olyan általam talált irodalom, amely légi felvételezést használ 60 m -ről.** [13]

Mivel a megvizsgált szakirodalmakban nem találtam ajánlást a gombakörök drónos felvételezésére, így saját módszertant kell kialakítanom a felvételezésre, a különböző vizsgált területek(rétek, legelők) összehasonlíthatóságának biztosításával.

3. Anyagok és módszerek

3.1.Gombakörök bemutatása

A gombakörök (vagy más néven "boszorkánykörök") természetes képződmények, amelyeket gombák hoznak létre, és jellegzetes kör alakban nőnek ki a talajban. Ezek kialakulása egy természetes ökológiai folyamat eredménye, amelyet a következőképpen lehet megmagyarázni: A gombák föld alatti része, az úgynevezett micélium, egy hálózatos struktúrát képez. A micélium középpontjából kiindulva sugárirányban terjed a talajban. Ahogy a micélium növekszik, a középső része fokozatosan elhal, mert a gomba minden tápanyagot felhasznál a környező területről. Ennek eredményeként a micélium a kör széle felé aktív, és ott termőtesteket, vagyis gombákat hoz létre.

Mivel a micélium minden irányba egyenletesen terjed, a gombák kör alakban jelennek meg a talajfelszínen. Ez a szabályosság abból adódik, hogy a gomba növekedése nincs akadályozva bizonyos irányokban, hacsak nem találkozik fizikai akadályokkal, például kövekkel vagy más növényekkel.



1. ábra - Gombakörök megjelenése (saját felvétel)

A micélium aktív része változásokat idéz elő a talajban. A gomba enzimeji lebontják a szerves anyagokat, és ezzel tápanyagokat szabadítanak fel, amelyek serkenthetik a

környéken lévő növények növekedését. Ezért a gombakörök szélein gyakran bujább növényzet figyelhető meg. Más esetekben a gombák annyi tápanyagot vonnak ki a talajból, hogy a növények körükben kevésbé tudnak növekedni, és a kör belsejében gyér fű, vagy akár teljesen kopár terület alakul ki.

A gombakörök évről évre nőnek, ahogy a micélium tovább terjed. Egyes gombafajok körgyűrűi évtizedekig vagy akár évszázadokig fennmaradhatnak, és a kör átmérője folyamatosan növekszik, ha elegendő tápanyag és megfelelő környezet áll rendelkezésre.

A gombakörök szabályos alakja sok kultúrában misztikus jelentést kapott. Például a középkorban azt hitték, hogy ezeket a köröket tündérek vagy boszorkányok tánca hozza létre, innen ered a "boszorkánykör" elnevezés. Angol irodalomban a „Fairly ring” kifejezés terjedt el a gombakörök megnevezésére.

A gomba körök nemcsak termőtest képzés idején láthatóak, hanem az év további időszakában is a környező növényzetre gyakorolt hatásának eredményeképpen

Ezeknek a gomba köröknek az átmérője 1 m és akár 30 m között is lehet ezért praktikus lehet megtekinteni légi felvétel segítségével. A légi felvételezés történhet vizuális tartományon hiszen ezek a gomba körök szabad szemmel is láthatóak.



2. ábra – Gombakörök légifelvételen (saját felvétel)

A vizuális tartományú felvételezéshez rendelkezésemre állt egy DJI Mini 3 Pro drón, a feltételezéseket ezzel készítettem.

A gombakörök megtekintéséhez próbarepüléseket végeztem, a próbarepülések alkalmával a gomba körök kontrasztosan jól kivehetően felvételezhetőek.



3. ábra – kora tavaszi nagyon kontrasztos gombakörök (saját felvétel)

A gombaköröket számos gombafaj alkothatja, amelyek közül néhány jól ismert, míg mások kevésbé feltűnőek. Ezek a fajok eltérő élőhelyi igényekkel és ökológiai szerepekkel bírnak, így találkozhatunk velük lombos erdőkben, fenyvesekben, mezőkön vagy akár városi parkokban is. A legismertebb gombakörképző fajok közé tartoznak az ehető gombák, mint például a Mezei Szegfűgomba (*Marasmius oreades*), valamint a különböző csiperkefajok. E fajok ökológiai szerepe is változatos: lehetnek lebontók, mikorrhizás partnerek.

A gombakörök tanulmányozása nemcsak esztétikai élményt nyújt, hanem betekintést enged az ökológiai folyamatokba, a gombák növekedési dinamikájába és a talajjal való kölcsönhatásaikba is. Az alábbiakban részletesen bemutatom azokat a fajokat, amelyek leggyakrabban felelősek ezekért a különleges képződményekért.

Magyarországon a hivatalos gombavizsgálat szakellenőr végzettséghez kötött. A szakellenőr tananyag körülbelül a háromszáz legfontosabb fajt tartalmazza előfordulás szerint. Magyarországon körülbelül öt-hatezer nagygomba faj található [3]. Számos

gombafaj alkot gombakört a leggyakoribbak felsorolásához a szakellenőr fajlistát vettem alapul.

A fajlista alapján a következő fajok jelennek meg réteken, legelőkön nagyobb számban, és a táblázatban kiemeltem azokat, amelyek ezek közül gombakört alkotnak [2].

Faj, Latin	Magyar	Gombakör	Ehető
Marasmius oreades	Mezei szegfűgomba	Gombakör	igen
Marasmius collinus	Üregetönkű szegfűgomba	Gombakör	nem
Lepista personata	Lilatönkű pereszke	Gombakör	igen
Cuphophyllus pratensis	Élénkszínű nyirokgomba	-	igen
Hygrocybe conica	Feketedő nedűgomba	-	Mérgező
Agaricus campestris	Mezei csiperke	-	igen
Agaricus bernardii	Sziki csiperke	Gombakör	igen
Agaricus benesii	Ligeti csiperke	-	Igen
Agaricus crocodilinus	Nagyspórás csiperke	Gombakör	Igen
Agaricus xanthodermus	Karbolszagú csiperke	Gombakör	mérgező
Lycopedron utriforme	Pikkelyes pöfeteg	-	igen
Leucoagaricus leucothites	Fehér tarlógomba	-	igen
Coprinus comatus	Gyapjas tintagomba	-	igen
Lepista panaeolus	Márványos pereszke	Gombakör	igen
Clytocybe rivulosa	Mezei tölcsérgomba	-	Mérgező

4. ábra – Mezőkön gombakört alkotó fajok szakellenőri fajlista alapján (saját táblázat)

Érdekesség, hogy a magyarországi veszélyeztetett és védett gombafajok közül több is alkot gombakört. A védett gombák olyan gombafajok, amelyek ritkaságuk, ökológiai szerepük vagy veszélyeztetett státuszuk miatt különleges védelem alatt állnak. Ezeket a fajokat törvény védi, hogy megakadályozzák a gyűjtésüket, pusztulásukat vagy élőhelyeik rombolását. A védelem célja a biodiverzitás megőrzése és a természetes ökoszisztémák fenntartása. Miért védenek gombákat? Az egyik oka lehet a ritkaság: Sok védett gombafaj populációja természetes módon szűk elterjedési területű vagy egyedi élőhelyekhez kötött. Előfordulhat élőhelyvesztés: Az erdőirtások, mezőgazdasági terjeszkedés vagy urbanizáció miatt sok gombafaj élőhelye megsemmisülhet. Sokszor veszély a túlgyűjtés: Egyes dekoratív, ehető vagy gyógyászati célokra keresett gombák állományai emberi gyűjtés miatt veszélyeztetetté válhatnak. Ökológiai szerepük miatt is lehet védett: A gombák kulcsfontosságú szerepet játszanak az ökoszisztémákban, például lebontóként vagy növények mikorrhizás partnereként [4].



5. ábra - Gombakört képző védett gombáink (képek: miskolcigombasz.hu)

<i>Aspropaxillus lepistoides</i>	–Tejpereszke	- 5000 Ft
<i>Floccularia luteovirens</i>	– Réti pikkelyespereszke	- 5000 Ft,
<i>Amanita vittadinii</i>	– Őzlábgalóca	- 5000 Ft ,

3.2.Drón és kamerarendszer bemutatása

A felvételezéshez használt DJI Mini 3 Pro egy könnyű, mégis nagy teljesítményű drón, amely kompakt méretének köszönhetően hordozható.

Fizikai jellemzői:

Tömege 249 gramm, így nem esik sok országban a drónokra vonatkozó szigorúbb szabályozás alá. Mérete összecsatolt állapotban: 145×90×62 mm. Kinyitott állapotban: 251×362×70 mm (propellerekkel együtt).

Kamera felbontás: Fényképek: 48 MP, Videó: 4K felbontás 60 fps-sel, HDR támogatással. Érzékelő: 1/1,3 hüvelykes CMOS szenzor. Blende: f/1.7, amely jobb teljesítményt nyújt gyenge fényviszonyok között.

Gimbal: Mechanikus, 3 tengelyes stabilizátor, amely sima és egyenletes felvételeket biztosít.

Repülési teljesítmény: maximális repülési idő 38 perc, maximális sebesség: 16 m/s. hatótávolság: 12 km ,szélállóság: Akár 10,7 m/s (5-ös szint).

Érzékelők: Előre, hátra és lefelé néző kettős látószögű érzékelők, amelyek segítik az akadályelkerülést. Fejlett pilótaasszisztens rendszer, amely valós időben észleli az akadályokat és automatikusan megkerüli azokat. Automatikus visszatérés (RTH) biztonsági funkcióval rendelkezik, amely alacsony akkumulátorszint vagy jelvesztés esetén visszahozza a drónt az indulási pontra.

Memória: Beépített memória: Nincs, Támogatott memóriakártya: microSD, max. 512 GB.

Kapcsolódás és Irányítás

- Vezérlő kompatibilitás: DJI RC és DJI RC-N1 távirányítók.
- Élő kép továbbítása: 1080p felbontás 30 fps mellett, alacsony késleltetéssel.
- Adatátvitel: OcuSync 3.0+ technológia, amely stabil kapcsolatot és hosszú hatótávolságot biztosít. [5]

3.3.A gombakörök felvételezésének sajátosságai

Idősoros felvételezési módszert befolyásoló tényezők: A gombakörök drónos felvételezésénél többféle terepakadály vagy kihívás merülhet fel, amelyeket figyelembe kell venni a sikeres és biztonságos felvételezés érdekében. Az alábbiakban felsorolom a leggyakoribb akadályokat és javaslatokat teszek ezek kezelésére:

Növényzet és tereptárgyak



6. ábra – Réten lévő magasabb terepakadály drón szemszögéből (saját felvétel)

Fák, bokrok vagy magas fű akadályozhatja a drón szabad mozgását és a rálátást a gombakörökre. A felvételezést különböző területeken lehetőleg hasonló paraméterekkel érdemes végrehajtani a későbbi összehasonlíthatóság érdekében. Növényzet esetén a drónnak a magas akadályokat - jellemzően fákat – kerülgetni kell, ami a felvételezés idejét megnöveli és ütközés esetén a drónban is anyagi kárt tehet. A drónokban lévő szenzorok többnyire érzékelik ezeket az akadályokat, de a felvételezés menetére mindenképpen hatással lesz. A kérdés itt, hogy mekkora az a felvételezési magasság, ami alá nem érdemes menni.

A fák átlagos magassága nagyban függ a fajtól, az élőhelytől, a környezeti feltételektől (talaj, éghajlat) és az ökológiai szerepüktől. Az alábbiakban összefoglalom a különböző kategóriák jellemző magasságait:

- Mérsékelt övi lombhullató fák: Átlagos magasság: 15–30 méter. Példák: tölgy (*Quercus* spp.), bükk (*Fagus sylvatica*), kőris (*Fraxinus excelsior*). A felvételezés során gyakran előfordulnak.
- Városi és parkokban élő fák: Átlagos magasság: 5–20 méter, mivel a fák gyakran kisebbek az adott környezethez való igazítás miatt. Példák: japán akác (*Sophora japonica*), hárs (*Tilia* spp.), juhar (*Acer* spp.) Előfordulnak réteken is.
- Cserjék és kis fák: Átlagos magasság: 2–8 méter. Példák: bodza (*Sambucus nigra*), galagonya (*Crataegus* spp.). Nagyon gyakoriak réteken.

DÍSZFÁK FONTOSABB MÉRETEI

2/b. függelék

Név		Koronaátmérő 20 éves korban (m)	Teljesen kifejlődve korona- átmérő (m) magasság (m)	
<i>Platanus hispanica</i>	Juharlevelű platán	16	25	30
<i>Populus alba</i>	Fehér nyár	16	23	24
- x <i>canescens</i>	Szürke nyár	16	23	24
- x <i>canadensis</i>	Kanadai nyár	18	18	24
- <i>nigra</i>	Fekete nyár	14	18	24
- <i>tremula</i>	Rezgő nyár	14	19	24
- <i>simonii</i>	Kínai nyár	8	8	15
<i>Prunus cerasifera</i>	Cseresznyeszilva	8	8	8
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	Kaukázusi szárnyasdió	7	12	12
<i>Pyrus pyraeaster</i>	Vadkörte	7	12	13
<i>Quercus cerris</i>	Csertölgy	15	25	22
- <i>farnetto</i>	Magyar tölgy	10	14	14
- <i>libani</i>	Libanoni tölgy	6	8	9
- <i>petraea</i>	Kocsánytalan tölgy	15	25	22
- <i>pubescens</i>	Molyhos tölgy	6	10	10
- <i>robur</i>	Kocsányos tölgy	15	30	24
- <i>rubra</i>	Vörös tölgy	15	28	24
- <i>palustris</i>	Amerikai mocsártölgy	15	28	24
- x <i>turneri</i> var. <i>pseudoturneri</i>	-	6	10	10
<i>Rhus typhina</i>	Ecetfa	6	6	5
<i>Robinia hispida</i>	Rózsás akác	4	4	4
- <i>pseudoacacia</i>	Fehér akác	8	15	18
<i>Salix alba</i>	Fehér fűz	13	14	18
- <i>caprea</i>	Kecske fűz	7	8	7
- <i>matsudana</i>	Mandzsú fűz	7	10	13

7. ábra – Gyakoribb fafajaink magasságai [12]

A fentiek átlagmagasságok, így 30 m a minimum, mivel ezek középértékek, biztonsági tartalékkal 40 m az a magasság, amin a legtöbb területen egységesen repülni tudok.

A réteken történő felvételezés szempontjából a tereptárgyak közül a távvezetékek jelentenek akadályokat a drónos repülés során.

A villanyoszlopok mérete jelentősen eltérhet attól függően, hogy milyen célra használják őket (pl. lakossági elektromos hálózat, nagyfeszültségű távvezetékek), valamint az adott ország és a szabványok szerint.



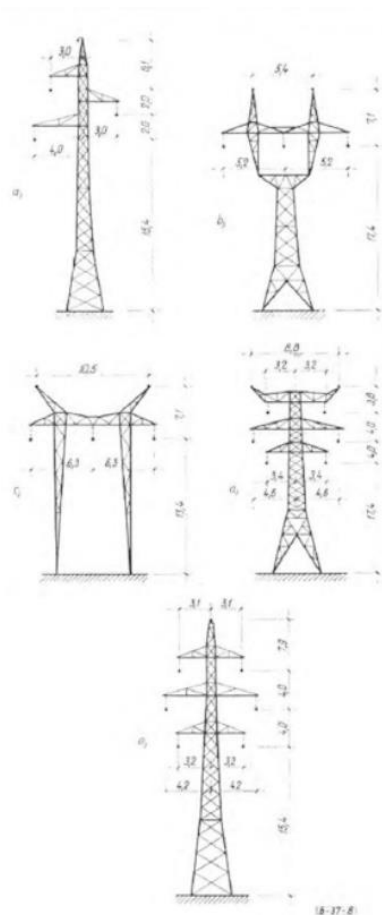
8. ábra – 120kV-os távvezeték a drón szemszögéből (saját felvétel)

Lakossági elektromos hálózati oszlopok magassága általában 8–12 méter.

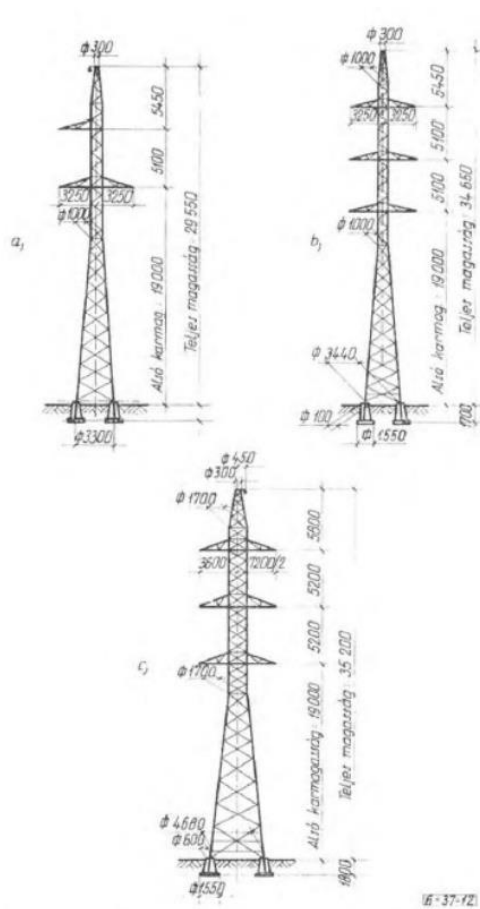
- Alsó határ: Kisebb utcai vagy kistelepülési hálózatokhoz.
- Felső határ: Sűrűn lakott városi területeken vagy nagyobb távolságú vezetékeknél.

Nagyfeszültségű oszlopok (távvezetékekhez)

- Magasság:
 - Közepfeszültség (10-30 kV): 12–25 méter.
 - Nagyfeszültség (120–400 kV): 25–50 méter, egyes speciális esetekben akár 100 méter is lehet.



8. ábra. 120 kV-os oszloptípusok: a) Boglár; b) Veszprém; c) Inota; d) Albertfalva; e) Földvár



2. ábra. 120 kV-os „S típusú” oszlopok: a) Baja-S; b) Szigetvár-S; c) Keszthely-S

9. ábra – Nagyfeszültségű terepakadályok méretezése[14]

A nagyfeszültségű távvezetékek tartóoszlopai nem ritkák a réteken, legelőkön. A saját felmért terület egyik oldalán is egy 120 kV-os távvezeték fut. Összességében a villamos hatások és a sérülésveszély miatt nem szándékozom megközelíteni a távvezetékot, de ha a felvételezés magasságát 40 m-ben határozom meg, akkor a leggyakoribb 120 kV-os távvezetékek körültekintés mellett nem jelentenek veszélyforrást a felvételezésre

Napon belüli felvételezés, fényviszonyok, éven belüli felvételezés hatása

Árnyékok a fák miatt vagy túl erős napfény megnehezíthetik a gombakörök kontrasztos megjelenítését.



10. ábra – Hibásan megválasztott felvételezési idő árnyékhatása (saját felvétel)

A felvételezések során azzal szembesültem, hogy nem elég a felvételezés dátumát meghatározni előre, a felvételezés napon belüli időpontja is nagyon sokat számít a felvétel felhasználhatósága szempontjából. A 10. ábrán egy nyári, kora reggeli időpontban történő felvételezés problémáit láthatjuk. A felkelő nap a terepakadályok által árnyékot kelt, ha az adott időszakban felvételezhetőek lettek volna gombakörök, azok biztosan nehézséget okoztak volna az MI tanítás során, hiszen a kontrasztosságát rontotta volna. Ugyanakkor fejlesztési irányt is kijelölhet, hogy a tanítás során ilyen képeket felhasználva az árnyékhatás is bevehető a felismerési folyamatba.

Az optimális felvételezés időpontja a feladatra nézve így a dél körüli időpontok, illetve még jobb a felhős, szórt fényt adó időpontok. Ez viszont az előre tervezésben jelentős nehézséget jelent.

A kiinduló feltételezésem a szakirodalmi adatok alapján az volt, hogy a gombakörök egész évben felvételezhetőek, hiszen a micélium minden időszakban ugyanazon helyen él és fejti ki környezetére a hatását. Ez a feltételezésem nem állta meg a helyét a vizsgált területen. A 11. ábrán látható a vizsgált terület repülés szempontjából kiindulópontja gombakörökkel.



11. ábra – Gombakörök 3. hónapban (saját felvétel)

Látható az ábrán, hogy nagyon kontrasztos gombakörök formálódnak, a mezőn élő növények a tél után még nem regenerálódtak, kivéve a gombakör környékén. A dolgozatomban kijelölt feladatok első felvételezése volt az ábrán látható. A szakirodalom a láthatóságról nem írt semmit, én pedig azt gondoltam, hogy ezek a körök fognak egész évben tovább fejlődni és vizsgálat tárgyát képezni. Nem így alakult. A következő képen láthatjuk a 2 hónappal későbbi- nyári állapotot ugyanazon területre.



12. ábra – Gombakör hiánya az 5. hónapban (saját felvétel)

Az 5. hónap nyárelőre a környező növények fejlődése lehetetlenné tette a drónos megfigyelését a gombaköröknek. A kora tavaszi előny teljesen eltűnt, kivehető gombakörök nem ábrázolódnak a felvételeken.

Művelés hatása a gombakörökre

A gyepművelés jelentős hatással lehet a gombakörök megjelenésére és felvételezésére. A gombakörök elsősorban természetes vagy féltermészetes gyepterületeken fordulnak elő, ahol a talaj és a vegetáció stabil körülményeket biztosít a gombák számára. A gyep művelése azonban megváltoztathatja ezeket a körülményeket, ami befolyásolja a gombák előfordulását és láthatóságát.

A talajművelési gyakorlatok, például a szántás, megszakíthatják a gombák micéliumhálózatát, amely a gombakörök alapját képezi. Ez a gombakörök teljes megszűnéséhez vezethet. A rendszeres kaszálás nem károsítja közvetlenül a micéliumot, de eltakarhatja vagy csökkentheti a gombatermőtestek láthatóságát, ami nehezíti a felvételezést.

Túlzott műtrágyázás: A tápanyagok, különösen a nitrogén, befolyásolhatják a gombák életfeltételeit. Sok gombafaj alacsony tápanyag-koncentrációjú talajban érzi jól magát, így a műtrágyázás csökkentheti a termőtestek képződését vagy a fajok diverzitását. Természetes trágyázás: Az állati trágyázás, például legeltetés során, kevésbé károsíthatja a gombaköröket, és bizonyos fajok, például a trágyagombák esetében még serkentő hatású is lehet.

Mérsékelt legeltetés: Segíthet a gyepterminológiai egyensúlyának fenntartásában, miközben nem károsítja a micéliumot.

Túllegeltetés: A talaj tömörödéséhez és a vegetáció károsodásához vezethet, ami közvetetten hátrányosan befolyásolja a gombákat.

Gyomirtók: A gyeptermészetben élő növények és gombák közötti kölcsönhatások megszakítása miatt a gyomirtók csökkenthetik a gombák előfordulását.

Gombaölő szerek: Nyilvánvaló módon közvetlenül károsítják a gombákat, így a gombakörök eltűnhetnek.

Öntözés: Az intenzív öntözés megváltoztathatja a talaj mikroklímáját, ami bizonyos fajok számára előnyös lehet, de mások számára kedvezőtlen. Szárazság: A természetes csapadékhiány vagy a vízelvezetés csökkentheti a gombák aktivitását és termőtestképződését.

Gyep homogénsége: Az intenzív gyepterminológiai művelés gyakran homogén fűtakarót eredményez, amely kevésbé támogatja a biodiverzitást, így kevesebb gombafaj és gombakör alakulhat ki.

Hatása a felvételezésre:

Láthatóság csökkenése: A fűnyírás vagy kaszálás eltakarhatja a gombatermőtesteket, ami megnehezíti a drónos vagy földi felvételezést. A túlzott művelés miatt csökkenhet a gombák fajszáma és előfordulása, így kevesebb gombakört lehet dokumentálni. A talaj és vegetáció változásai miatt a gombakörök szabályossága csökkenhet, ami nehezíti az azonosítást.



13. ábra – A felvételezett terület kaszálás utáni állapota (saját felvétel)

A felvételezett területen a kaszálás után a gombakörök teljesen felismerhetetlenek, textúrájuk eltűnt. Csak 1-1 nagyon erős kör tudott regenerálódni a későbbiekben.

A felvételezés további szempontjai

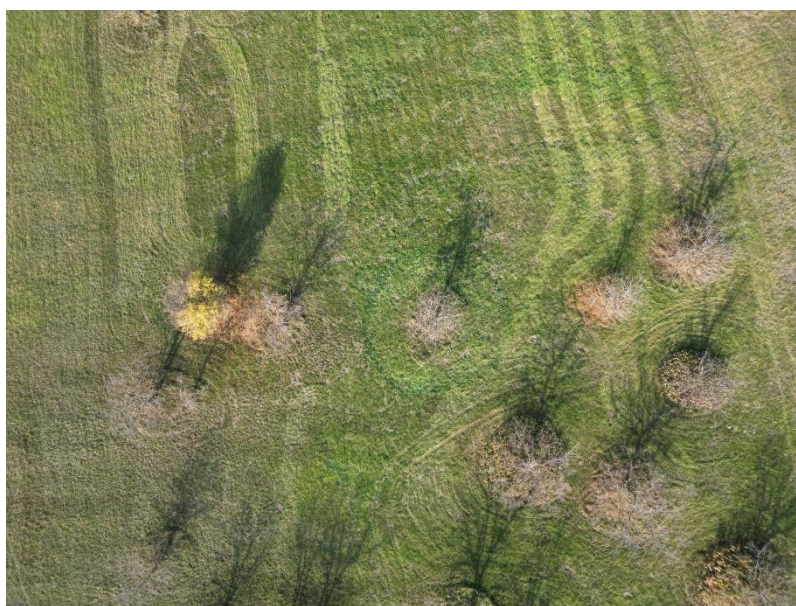
- Egyenetlen terep, lejtők vagy dombok megnehezíthetik az optimális szögből történő felvételkészítést. A 40 méteres felvételezési magasság csekély domborzati változás esetén jól használható.
- Szél, eső vagy köd negatívan befolyásolhatja a drón stabilitását és a kamera képminőségét. Ez előre tervezett felvételezés esetén okoz problémát. Személyes tanulság a projektből, hogy tervezni kell „esőnapot” is a felvételezésre.
- Gombakörök talajon helyezkednek el, így nehezen időnként észrevehetők, különösen nagyobb távolságból. A 40 m-es távolságból a tapasztalatok szerint a gyengébb kontrasztú gombakörök is kivehetőek.
- Nyilvános helyeken és a réteken is gyakori a gyalogos forgalom és a vadállatok
- A drón rövid repülési ideje nem biztos, hogy elegendő a teljes terület bejárásához. Ennek kiküszöbölésére a projekt során 3 feltöltött akkumulátorral kezdtem meg felvételezést.

Magassági felvételek gombakörökről

Készítettem pár felvételt a művelés után regenerálódó gombakörökről, kifejezetten olyan kört kerestem, ami alig érzékelhető. Így a repülés magassága és a részletgazdagság összefüggései kirajzolódnak.



14. ábra – Művelés utáni intenzív gombakör 60 m-ről felvételezve (saját felvétel)



15. ábra – Művelés utáni intenzív gombakör 50 m-ről felvételezve (saját felvétel)



16. ábra – Művelés utáni intenzív gombakör 40 m-ről felvételezve (saját felvétel)

Ahogy az várható volt, az alacsonyabb magasságról készített felvételezés részletgazdagabb képeket eredményezett.

A felvételezés során a kora nyári időszakban tapasztaltam, hogy sok esetben lentről nem észrevehetőek a vizsgálandó körök. A 17. ábrán látható felvételtől tapasztalt gombász szakember sem tud gombaköröket felismerni a Nógrádi felvételezési területen.



17. ábra – Emberi szemmel nem észlelhető gombakörök (saját felvétel)

Az eddig részletezett módszerrel viszont a levegőből számos gombakör tárul elénk, ahogyan a 18. ábrán láthatjuk. (40 m, DJI Mini 3 Pro). A gombakörök később Mezei Szegfűgomba köreinek bizonyultak.



18. ábra – Légifelvételzéssel előtáruló gombakörök (saját felvétel)

3.4. Felvételezés alkalmai és fontosabb események

- Fótliget külterületén gondozott réten történt az alábbi időpontokban és eredményekkel:
 - 2024.03.15 – **Jól látszó körök**, kontúros, kopár
 - 2024.04.28 – **Nagyon jól látszó körök**, fejlődő növényzettel
 - 2024.05.12 – Kisebb körök eltűntek, nagyon erős kontúrúak még látszanak, **Mezei szegfűgomba termőtestképzés**
 - 2024.06.28 – **Nyírás, teljesen tönkretett textúra**, nincs felismerhető kör
 - 2024.07.13 – Nyírás + aszály, nincs felismerhető kör
 - 2024.08.04 – Aszály miatt csak kiégett fű
 - 2024.08.25 - Aszály miatt csak kiégett fű
 - 2024.09.04 – minimálisan éledő növényzet, nincs kör
 - 2024.09.22 – éledező növényzet, kör nem rajzolódik, a nyírási minta még látszik
 - 2024.10.17 – Zöld növényzet, nincsenek körmintázatok a fűben, **nagygombák termőtestképzése a körben**
 - 2024.11.01 – Zöld növényzet, nincsenek körök

Az egyes mintavételezések időigénye megközelítőleg: 1 óra utazás és 1 óra felvételezés továbbá 10 óra ortofotó készítési gépidő. Összesen mintegy 22 órányi mintagyűjtési időt vett igénybe és 110 órányi számítási gépidőt.

A nagygombák termőtestképzése az éves felvételezés során bizonyította a vizsgált területen, hogy a gombaköröket a Mezei szegfűgomba és a Kabolszagú csiperke fajok alkotják. Emberi szemmel is elkülöníthető textúrával rendelkeznek, ami további a továbbfejlesztés részben részletezett kutatásokat indokolhat.

3.5.Ortofotók készítése

Az elkészült felvételekből ortofotót készítettem. Az **Agisoft Metashape** egy széles körben használt szoftver fotogrammetriai feldolgozáshoz, amely lehetővé teszi ortofotók és 3D modellek készítését. Az ortofotók számos előnnyel járnak, különösen a földrajzi, térképészeti és tervezési területeken. Az ortofotók georeferált képek, amelyek korrigálva vannak a terepferdeségek és a kamera torzítása miatt, így minden pontjuk térbeli koordinátával rendelkezik. Ezáltal nagyon pontos alapot nyújtanak térképezési és mérnöki munkákhoz. Az ortofotók vizuálisan valósághű képeket nyújtanak a földfelszínről, így könnyen értelmezhetők, még szakértelem nélkül is. Ez különösen hasznos a döntéshozók számára. Az ortofotók segítségével időszakos felvételek készíthetők, amelyek lehetővé teszik a területi változások nyomon követését. Ez például városi fejlődés, erózió vagy esetünkben gombakörök dokumentálására kiváló.

Az ortofotók alkalmazása olcsóbb és gyorsabb lehet, mint a hagyományos terepi adatgyűjtés, különösen nagy területek esetében. Az ortofotók tökéletesen integrálhatók térinformatikai szoftverekbe, ahol más rétegekkel, például térképekkel, topográfiai adatokkal vagy ingatlan-nyilvántartásokkal kombinálhatók. Az ortofotók lehetővé teszik távolságok, területek és magasságok pontos mérését közvetlenül a képen. Az ortofotók készítése drónokkal vagy műholdakkal minimális környezeti beavatkozást igényel, így környezetbarát alternatívát kínálnak más földmérési módszerekhez képest.

Az ortofotók előállítása a modern térinformatikai és fotogrammetriai technológiák egyik legfontosabb alkalmazása. Az ortofotó egy olyan fotogrammetriai termék, amely geometriailag helyesbített és a térképekhez igazított légifelvételekből készül. Ennek elkészítésére az Agisoft Metashape az egyik legnépszerűbb eszköz, amely drónokkal vagy más légi járművekkel gyűjtött képekből képes pontos térképi adatokat létrehozni. Ez

a dolgozat bemutatja a teljes folyamatot, a nyers adatok előkészítésétől kezdve az ortofotó exportálásáig.

A folyamat az adatok előkészítésével kezdődik. Az első lépés, hogy biztosítjuk a légi felvételek megfelelő minőségét és lefedettségét. A képeknek jó minőségűeknek kell lenniük, azaz élesek, jól megvilágítottak és a területet egyenletesen lefedők. Az átfedés kulcsfontosságú: a felvételeknek legalább 60-80%-os átfedést kell biztosítaniuk, hogy a szoftver sikeresen tudja azonosítani a közös pontokat. Ezenkívül a képekhez csatolt GPS-adatok elengedhetetlenek a pontos georeferáláshoz, bár manuális vezérlőpontok (GCP-k) is használhatók a pontosság növelésére.

Miután az adatok előkészítése megtörtént, megkezdődik a feldolgozás a Metashape szoftverben. Az első lépés a képek importálása a projektbe. Ehhez a „Workflow” menü „Add Photos” opcióját használjuk, amely lehetővé teszi a képek betöltését. A képek betöltése után a szoftver megjeleníti az összes képet a projektablakban. Ezt követően szükséges a koordináták ellenőrzése, amelyeket a képekhez társított GPS-adatok biztosítanak. Ha vezérlőpontokat is használunk, ezeket a „Markers” funkcióval lehet megadni.

A következő lépés az „Align Photos” parancs futtatása, amely a képek közötti közös pontokat azonosítja, és egy pontfelhőt hoz létre. Ez a pontfelhő az alapja a későbbi modellépítésnek. Az Align Photos beállításai között kiválasztható a kívánt pontosság (például Low, Medium vagy High), ami a feldolgozási időt is befolyásolja. Az összeillesztés után a pontfelhő háromdimenziós formában jelenik meg, amely már térbeli információkat tartalmaz a lefedett területről.

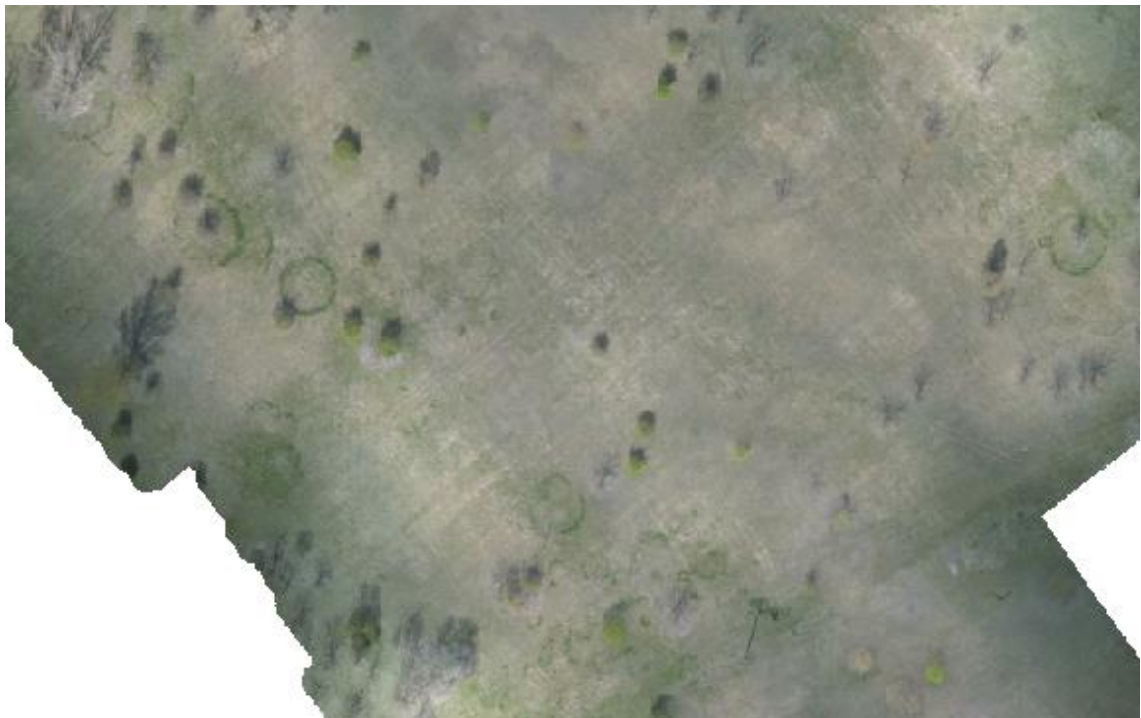
A következő lépés a pontfelhőből a sűrű pontfelhő generálása, amit a „Build Dense Cloud” parancs segítségével lehet elvégezni. Ez a lépés részletesebb térbeli adatokat ad, amelyek a digitális felszínmodell (DSM) és a digitális terepmodell (DTM) alapját képezik. Miután a sűrű pontfelhő elkészült, a „Build Mesh” és a „Build Texture” funkciók segítségével háromdimenziós modell hozható létre. Ez ugyan nem feltétlenül szükséges az ortofotó generálásához, de segíthet a vizualizációban és a további elemzésekben.

Az ortofotó generálása a „Build Orthomosaic” funkcióval történik, amely elérhető a Workflow menüből. Itt ki kell választani, hogy mely modelltípust (DSM vagy DTM) kívánjuk használni az ortofotó létrehozásához. Ez a lépés kulcsfontosságú, mivel a terepmodell pontos megadása biztosítja, hogy az ortofotó helyesen igazított és

torzításmentes legyen. A szoftver ezután automatikusan elvégzi a képek mozaikozását és geometriai korrekcióját, hogy az egyes képeket összeillesztve egyetlen homogén ortofotót hozzon létre.

Az utolsó lépés az ortofotó exportálása. A „File” menüben található „Export Orthomosaic” opcióval elmenthetjük a kész terméket különböző formátumokban, például GeoTIFF vagy JPEG formátumban. Az exportálás során megadhatók a kívánt kimeneti paraméterek, például a felbontás, a vetületi rendszer és a fájl mérete. Az eredmény egy georeferált ortofotó, amely pontosan illeszkedik a térképi koordinátarendszerhez, és alkalmas térinformatikai elemzésekhez vagy nyomtatott térképek készítéséhez.

Az ortofotó készítés eredményeit a következő ábrákon részletezem.



19. ábra – felvételezett terület 03.15 – i ortofotója (saját ortofotó)

A felvételen látszanak az intenzív gombakörök, a felvételezésre a területen a leginkább alkalmas időszaknak bizonyult. A jobb oldali két gombakör és a bal oldali jól kivehető gombakör a Karbolszagú csiperke köre. A felvétel 3. hóban készült, a kört alkotó faj meghatározása viszont 10. hónapban történt a termőtestek megjelenésével.

A lent látható kevésbé intenzív körök Mezei Szegfűgomba körei. A textúrában látható eltérés más életmód és társulás jeleit mutatja.



20. ábra – felvételezett terület 04.28– i ortofotója (saját ortofotó)

Az évszak változásával a vegetáció növekszik, az intenzív körök még kivehetőek.



21. ábra - felvételezett terület 05.12 – i ortofotója (saját ortofotó)

A körök 5. hóban a felvételezett területen egyáltalán nem kivehetőek.



22. ábra - felvételezett terület 05.12 – i ortofotója (saját ortofotó)

A művelés hatására a gombakörök vizsgálata lehetetlenné vált.

3.6. Gombakörök felismerése MI segítségével

Mélytanulás

A mesterséges intelligencia (MI) rohamos fejlődése az elmúlt évtizedekben átalakította a technológiai innováció számos területét. Az MI egyik legjelentősebb ága a mélytanulás, amelynek középpontjában a mély neurális hálózatok (Deep Neural Networks, DNN-ek) állnak. Ezek a rendszerek az emberi agy működését modellezve képesek bonyolult minták felismerésére és rendkívül összetett problémák megoldására. A mélytanulás számos területen forradalmi áttörést hozott, a képfeldolgozástól kezdve a természetes nyelvfeldolgozáson át a robotikáig.

A neurális hálózatok alapjai

A mesterséges neurális hálózatok alapját a biológiai neuronok működése ihlette. Egy mesterséges neuron a bemeneti értékeket súlyozza, összegezi, majd egy aktivációs függvény segítségével állítja elő a kimenetet. Az alapvető neurális hálózatok több rétegből épülnek fel: a bemeneti rétegből, rejtett rétegekből és kimeneti rétegből. A mély neurális hálózatok abban különböznek a hagyományos hálózatoktól, hogy sokkal több

rejtett réteggel rendelkeznek, ami lehetővé teszi a komplex mintázatok és összefüggések felismerését.

A rejtett rétegek fő célja az, hogy a bemeneti adatokból olyan jellemzőket tanuljanak ki, amelyek elősegítik a pontos kimenetek előállítását. Például képfeldolgozás esetén a kezdeti rétegek alacsony szintű jellemzőket, mint éleket vagy textúrát tanulnak meg, míg a későbbi rétegek magas szintű reprezentációkat, például objektumokat ismernek fel. [30]

A mélytanulás fejlődése

A mélytanulás népszerűségének növekedése több tényező eredménye. Az elsődleges áttörést az algoritmusok fejlődése és a nagy mennyiségű adathoz való hozzáférés jelentette. A mélytanuló rendszerek megfelelő működéséhez hatalmas mennyiségű címkézett adat szükséges. A másik fontos tényező a számítási teljesítmény drasztikus növekedése, amelyet a grafikus processzorok (GPU-k) és más specializált hardverek, például a tensor processzor egységek (TPU-k) elérhetősége tett lehetővé.

További jelentős előrelépést hoztak az új algoritmusok, mint például a visszacsatolt hiba (backpropagation) optimalizálása, az adaptív tanulási sebességet használó algoritmusok (Adam, RMSprop), valamint az olyan architektúrák megjelenése, mint a konvolúciós neurális hálózatok (CNN-ek) és a rekurzív neurális hálózatok (RNN-ek).

Mélytanuló hálózatok architektúrái

A mélytanulás során különböző hálózati architektúrákat alkalmaznak a feladat típusától függően. Az egyik legelterjedtebb architektúra a konvolúciós neurális hálózat (Convolutional Neural Network, CNN), amelyet elsősorban képfeldolgozási feladatokra terveztek. A CNN-ek konvolúciós rétegeket tartalmaznak, amelyek a képadatok térbeli jellemzőit (például éleket és textúrákat) tanulják meg. [27]

Másik jelentős típus a rekurzív neurális hálózat (Recurrent Neural Network, RNN), amelyet időbeli vagy szekvenciális adatok feldolgozására használnak, mint például a természetes nyelv vagy a hangfelvételek. Az RNN-ek különlegessége, hogy belső memóriájuk révén képesek a korábbi bemenetek figyelembevételére.

A transformer architektúrák, mint például a BERT és a GPT, a természetes nyelvfeldolgozásban értek el jelentős sikereket. Ezek az architektúrák a

figyelemmechanizmusra (attention mechanism) épülnek, amely lehetővé teszi a modell számára, hogy a bemeneti szekvencia releváns részeire koncentráljon.

A mélytanulás matematikai alapjai

A mélytanuló hálózatok működését matematikai modellek írják le. A legfontosabb összetevő a súlyok optimalizálása, amelyet általában gradiensalapú módszerekkel végeznek. A hálózat kimeneti értékeinek pontosságát egy veszteségfüggvény méri, amely megmutatja a predikciók és a valós értékek közötti különbséget. A visszacsatolt hiba algoritmus segítségével a veszteségfüggvény gradiensét számítják ki, és ennek alapján módosítják a hálózat súlyait.

Az aktivációs függvények szintén alapvető fontosságúak, mivel nemlinearitást visznek a modellbe. A leggyakrabban használt aktivációs függvények közé tartozik a ReLU (Rectified Linear Unit), a sigmoid és a tanh függvény. [24]

Alkalmazások

A mélytanulás napjainkban számos területen játszik kulcsszerepet. Az arcfelismerő rendszerek, mint a Facebook vagy a telefonok biometrikus azonosítói, CNN-eket használnak a képjellemzők felismerésére. Az autonóm járművek számos szenzorból és kamerából származó adatot dolgoznak fel mélytanuló modellek segítségével, hogy navigáljanak és döntéseket hozzanak. [29]

A természetes nyelvfeldolgozásban (NLP) a mélytanulás átalakította a gépi fordítást, szövegértést és beszédfelismerést. Az olyan rendszerek, mint a Google Translate vagy az OpenAI által fejlesztett ChatGPT, transformer-alapú modelleket használnak.

Bár a mélytanulás jelentős eredményeket ért el, számos kihívással kell szembenéznie. Az egyik legfontosabb probléma az „adatéhség”, azaz a nagy mennyiségű címkézett adat szükségessége. Az adatgyűjtés és címkézés költséges és időigényes folyamat. Ezen kívül a mélytanuló modellek gyakran „fekete dobozként” működnek, ami nehezíti az eredmények értelmezését. [22]

YOLO modell

Az objektumdetekció a számítógépes látás egyik legfontosabb és legösszetettebb problémája. Ez a feladat magában foglalja a képeken található objektumok helyének

azonosítását és azok kategóriákba sorolását. Az utóbbi évtizedekben számos módszert fejlesztettek ki ennek a problémának a megoldására, de a You Only Look Once (YOLO) modell bevezetése forradalmi változást hozott. A YOLO egy mélytanulás-alapú megközelítés, amely rendkívüli sebességet és pontosságot biztosít, miközben képes valós idejű működésre.

Az objektumdetekció problémája

Az objektumdetekció célja, hogy a képekben található objektumokat ne csak kategorizálja, hanem azok pontos helyét is meghatározza a képen. Ez a feladat két fő összetevőre bontható: az objektumok osztályozására és azok lokalizációjára. Az osztályozás során a modell meghatározza, hogy egy adott objektum milyen kategóriába tartozik (például ember, autó, fa), míg a lokalizáció során meghatározza az objektumot körülvevő határoló doboz (bounding box) koordinátáit.

A YOLO modell alapjai

A YOLO modellt Joseph Redmon és munkatársai fejlesztették ki 2016-ban, hogy egy gyorsabb és hatékonyabb alternatívát kínáljanak az objektumdetekció területén. A YOLO megközelítés lényege, hogy az egész képet egyszerre dolgozza fel, ellentétben a korábbi módszerekkel, amelyek több lépésben elemezték a képet. Ez az „egyszeri pillantás” (one look) lehetővé teszi, hogy a modell valós időben képes legyen az objektumdetekcióra.

A YOLO modell a képet egy rácsra osztja, amelyben minden cella felelős az ott található objektumok detektálásáért. A rács cellái nemcsak az objektumok jelenlétét, hanem azok határoló dobozának paramétereit (középpont, szélesség, magasság) és az osztály valószínűségi eloszlását is meghatározzák. Ez a megközelítés kiküszöböli a regionális javaslatok generálásának szükségességét, így jelentősen gyorsítja a feldolgozást.

YOLO architektúrája

A YOLO modell alapvető eleme egy konvolúciós neurális hálózat (CNN), amely a bemeneti kép jellemzőit kivonja. A CNN architektúrája több konvolúciós és pooling rétegből áll, amelyek a kép alacsony szintű jellemzőit (például éleket és textúrákat) magas szintű reprezentációkká alakítják. A YOLO hálózat végén egy teljesen kapcsolt réteg található, amely az objektumdetekció eredményeit szolgáltatja.

A YOLO előnyei

A YOLO modell egyik legnagyobb előnye a feldolgozási sebessége. A teljes kép egyszeri feldolgozása lehetővé teszi, hogy a modell valós idejű alkalmazásokban is használható legyen. Továbbá, a YOLO globális kontextust használ az objektumdetekció során, így csökkenti a téves pozitív detekciók számát, különösen hasonló háttérrel rendelkező objektumok esetén.

A YOLO egy másik fontos előnye az egyszerűsége és a könnyű implementálhatósága. A teljes modell egyetlen neurális hálózatként definiált, ami megkönnyíti a tanítást és a finomhangolást. Az egyszerűség ugyanakkor néhány pontossági kompromisszummal jár, különösen kisebb objektumok detekciójánál. [16]

Tanítószettek összeállítása

A mélytanulás alapú modellek, például a YOLO sikerének alapvető feltétele a megfelelő minőségű és mennyiségű tanítókészlet rendelkezésre állása. A tanítókészletek jelentősége különösen nagy az objektumdetekció területén, ahol nem csupán az objektumok osztályozása, hanem azok pontos helyének meghatározása is feladat. Az objektumdetekció során alkalmazott modellek tanításához a képek mellett szükség van pontos annotációkra is, amelyek leírják az egyes objektumok helyét és osztályát. E dolgozat részletesen elemzi a YOLO tanítókészletek szerepét, a készletek kialakításának módszereit, a minőség biztosításának eszközeit, valamint a tanítókészletek hatását a modellek teljesítményére.

A tanítókészletek szerepe a YOLO modellben

A YOLO modell lényege, hogy az egész képet egyszerre dolgozza fel, és azon belül az objektumokat lokalizálja és osztályozza. Ezért a tanítókészletnek egyszerre kell biztosítania a vizuális információk sokszínűségét és a pontos annotációkat. A YOLO modell tanítása során a tanítókészlet adatai segítik a modell súlyainak optimalizálását, így az megtanulja az egyes objektumok vizuális jellemzőit és azok térbeli elhelyezkedését. A tanítókészletek minősége közvetlenül befolyásolja a modell pontosságát, általánosíthatóságát és hatékonyságát. [26]

A tanítókészlet felépítése

Egy jól kialakított tanítókészlet számos fontos tulajdonsággal rendelkezik. Először is, a készletnek reprezentálnia kell a valós világban előforduló helyzeteket, beleértve az objektumok különböző méreteit, elhelyezkedéseit és megvilágítási viszonyait. Az adatok diverzitása kulcsfontosságú, mivel a modell csak olyan esetekben teljesít jól, amelyeket a tanítás során látott vagy amelyekhez hasonló helyzetekkel találkozott. [25]

Az **adatbiasz** az adatokban rejlő torzítást vagy egyenlőtlenséget jelenti, amely befolyásolhatja a mesterséges intelligencia (AI) vagy gépi tanulási (ML) modellek tanításának és működésének eredményét. Az adatbiasz akkor alakul ki, ha az adatok nem megfelelően reprezentálják a valós világot vagy az adott feladat szempontjából releváns mintázatokat. Ez torz eredményekhez, téves döntésekhez vagy diszkriminatív működéshez vezethet.

Adatbiasz típusai:

- A tanításhoz használt adatminták nem tükrözik a teljes populáció sokféleségét. A címkézések következetlenek vagy szubjektívek, ami pontatlan modellezést eredményezhet.
- Az adatok történelmileg fennálló torzításokat tükröznek, amelyek diszkriminatív eredményeket idézhetnek elő.
- Az algoritmus tanításához használt adatok vagy az algoritmus működési logikája eredményez torz eredményeket

A tanítókészletek felépítése során az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

1. **Adatforrások:** A képek származhatnak különböző forrásokból, például nyilvános adatbázisokból, szintetikusán generált adatokból vagy valós környezetben készített felvételekből.
2. **Címkézés minősége:** Az annotációknak pontosnak kell lenniük. A hibás vagy hiányos annotációk torzítják a modell tanulási folyamatát.
3. **Osztályeloszlás:** Az egyes osztályokhoz tartozó minták száma kiegyensúlyozott kell legyen, hogy elkerüljük az adatbiasz hatásait.
4. **Méret és skálázás:** A készletnek elegendő mennyiségű adatot kell tartalmaznia, de nem szükséges hatalmas méretűnek lennie, ha az annotációk pontosak és a készlet megfelelően diverzifikált.

Nyilvános adatbázisok a YOLO tanításához

A YOLO modell tanításához gyakran használnak nyilvánosan elérhető adatbázisokat, amelyek széles körben elfogadott szabványok szerint készültek. Az alábbiakban néhány jelentős nyilvános adatbázist ismertetek: COCO (Common Objects in Context), PASCAL VOC, Open Images Dataset, KITTI: Adatok annotálása a YOLO modellhez. Gombakörhöz kereséseim szerint egyik sem tartalmaz tanítószettet.

A tanítókészletek előkészítése

A YOLO modell tanítását megelőzően az adatkészletet elő kell készíteni. Ez az előkészítési folyamat az alábbi lépéseket foglalja magában:

- **Adatok szétválasztása:** Az adatokat három részre kell osztani: tanító, validáló és tesztelő készlet. Ez az elosztás általában 70-20-10%-os arányban történik.

- **Adatok címkézése:** Az adatkészlet növelése érdekében címkézési trükköket alkalmazhatunk, például forgatást, tükrözést, skálázást vagy zaj hozzáadását.
- **Normalizálás:** Az annotációk koordinátáit normalizálni kell, hogy a YOLO modell által elvárt formátumban legyenek.

A tanítókészlet hatása a YOLO modell teljesítményére

A tanítókészlet minősége közvetlenül befolyásolja a YOLO modell teljesítményét. Egy kiegyensúlyozott és diverzifikált készlet lehetővé teszi a modell számára, hogy pontosabb predikciókat készítsen, miközben csökkenti a túlilleszkedés és az alulilleszkedés kockázatát. Az osztályok közötti egyensúlytalanság, az annotációk hibái vagy a nem reprezentatív adatok mind ronthatják a modell pontosságát és általánosíthatóságát.

A tanítókészlet mérete szintén fontos tényező. Egy nagyobb készlet általában jobb eredményeket hoz, feltéve, hogy a modell megfelelő számítási kapacitással rendelkezik annak feldolgozásához. Azonban a minőség mindig fontosabb, mint a mennyiség; egy kisebb, de jól annotált készlet jobb eredményeket adhat, mint egy nagyobb, de rosszul előkészített készlet.

Címkézés

A mesterséges intelligencia alapú objektumdetekciós modellek, különösen a YOLO architektúra, rendkívül hatékonyak a különböző képi információk automatikus feldolgozásában és értelmezésében. Ezek a modellek azonban nem működhetnek megfelelő minőségű adatok nélkül. Az objektumdetekciós modellek egyik kulcsfontosságú lépése a címkézés, amely meghatározza az adatok és a modellezési folyamat pontosságát. A YOLO címkézés kifejezetten fontos szerepet játszik az objektumok pontos detekciójában és az eredmények hitelességében.

Az objektumdetekciós címkézés alapjai

Az objektumdetekció címkézési folyamata során a képi adatokban található objektumokat vizuálisan megjelöljük, majd ezekhez metaadatokat rendelünk hozzá, amelyek leírják az objektumok helyét és osztályát. A YOLO modell esetében a címkézés az objektumok határoló dobozainak és osztálycímkéinek definiálásából áll. A határoló dobozokat a kép koordináta-rendszerében kell megadni, miközben figyelembe vesszük a YOLO modell által megkövetelt formátumot.

A címkézés során az adatok olyan módon kerülnek strukturálásra, hogy a modell képes legyen azokat feldolgozni. A YOLO modell bemeneteként szolgáló adatokhoz a határoló dobozokat és osztályokat egy egyszerű szöveges fájlban, úgynevezett *label file*-ban adjuk meg. Ez a fájl tartalmazza az egyes objektumok osztályazonosítóját, valamint a határoló doboz helyzetét a kép normalizált koordináta-rendszerében.

A YOLO címkézés technikai specifikációi

A YOLO címkézés formátuma rendkívül egyszerű és kompakt. Minden képhez tartozik egy szöveges fájl (YAML), amely az adott képen található objektumokat írja le.[19]

Egy sor formátuma a következő:

`<class_id> <x_center> <y_center> <width> <height>`

Ebben a formátumban:

- `<class_id>`: Az objektum osztályának azonosítója (egész szám, például 0, 1, 2 stb.).
- `<x_center>` és `<y_center>`: Az objektum középpontjának koordinátái, amelyek a kép szélességéhez és magasságához képest normalizáltak (értékek 0 és 1 között).
- `<width>` és `<height>`: A határoló doboz szélessége és magassága, szintén normalizált értékekben.

A normalizálás biztosítja, hogy a modell független legyen a kép méretétől, így az eltérő méretű képeken is hatékonyan működjön.

YOLO címkézési eszközök

A YOLO címkézési folyamathoz számos eszköz áll rendelkezésre, amelyek megkönnyítik az annotációt. Az alábbiakban bemutatjuk a leggyakrabban használt eszközöket és azok előnyeit:

1. **LabelImg**: Ez az egyik legnépszerűbb grafikus címkéző eszköz, amely könnyen használható felülettel rendelkezik. A felhasználók egér segítségével hozhatnak létre határoló dobozokat, majd társíthatják azokat osztályokkal.
2. **YOLO Annotation Tool**: Kifejezetten a YOLO modellhez fejlesztett eszköz, amely támogatja a YOLO formátumot és egyszerűsíti a címkézési folyamatot.

3. **Roboflow:** Egy felhőalapú platform, amely nemcsak címkézési, hanem adat-előkészítési funkciókat is kínál.
4. **CVAT (Computer Vision Annotation Tool):** Haladó eszköz nagy adatkészletek címkézésére, amely támogatja a kollaboratív munkát és a YOLO formátum exportját.
5. **YoloLabel:** .LabelImg továbbfejlesztése, NET alapú könnyű használatra tervezett címkéző eszköz. [15]

Az eszközök kiválasztásakor fontos figyelembe venni az annotációs projekt méretét, a csapat munkafolyamatát és a kívánt kimeneti formátumot.

A címkézési folyamat lépései

A YOLO címkézési folyamat több lépésből áll, amelyeket következetesen végre kell hajtani a megfelelő adatkészlet előállításához:

1. **Adatgyűjtés és előkészítés:** Az első lépés a megfelelő képi adatok összegyűjtése. Az adatoknak reprezentatívnak kell lenniük a valós világban előforduló helyzetekre vonatkozóan.
2. **Címkézés:** Az annotáció során a képeken található összes releváns objektumot meg kell jelölni. Fontos, hogy az annotáció konzisztens és pontos legyen, mivel a pontatlan címkézés rontja a modell teljesítményét.
3. **Minőségellenőrzés:** A címkézés befejezése után ellenőrizni kell, hogy az összes határoló doboz megfelelően illeszkedik-e az objektumokra, és a címkék helyesek-e.
4. **Adatok tárolása:** A címkézett adatok rendezett tárolása elengedhetetlen a modell tanításához. A fájlokat célszerű megfelelő könyvtárszerkezetben elhelyezni, például külön mappákban a képek és a címkék számára.

Címkézési kihívások és megoldások

A YOLO címkézési folyamat során számos kihívással találkozhatunk. Az egyik legnagyobb probléma az emberi hiba, amely pontatlan annotációkhoz vezethet. Ezt a problémát alapos minőségellenőrzéssel és kollaboratív munkával lehet minimalizálni. Egy másik kihívás a címkézési folyamat időigényessége, különösen nagy adatkészletek

esetén. Ennek megoldására automatikus vagy fél-automatikus annotációs módszerek alkalmazhatók.

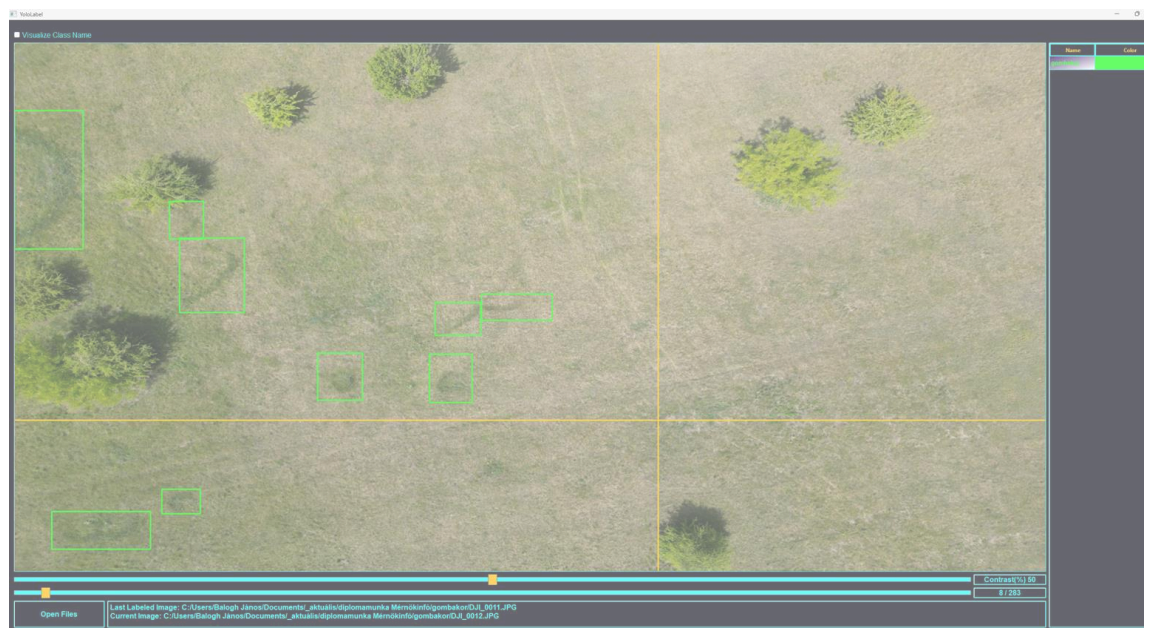
Az objektumok átfedése és a kisebb méretű objektumok címkézése szintén problémát jelenthet. Ilyen esetekben fontos, hogy a címkéző eszköz finomhangolható legyen, és támogassa a nagy pontosságú annotációt.

A címkézés hatása a modell teljesítményére

A címkézés minősége közvetlenül befolyásolja a YOLO modell teljesítményét. A pontatlan vagy hiányos címkék csökkentik a modell pontosságát, és növelik a téves pozitív és téves negatív detekciók számát. Az adatkészlet diverzitása szintén kulcsfontosságú, mivel a modellnek képesnek kell lennie a különböző körülmények között megjelenő objektumok felismerésére.

A megfelelő címkézés nemcsak a tanítási adatok minőségét javítja, hanem segít elkerülni az olyan problémákat, mint az adatbiasz, amely negatívan befolyásolhatja a modell általánosíthatóságát.

A címkézéshez a YoloLabel-t választottam.



23. ábra- YoloLabel címkézési folyamat (saját kép)

MI alapú tanítás gombakörökre

A tanításra az előzőekben ismertetett YOLO keretrendszert választottam, ami mélytanulás segítségével képes objektumok felismerésére [6].

A tanítószett összeállításához több mint 3000 felvételt készítettem. Ezekből nem használhatóak azok, amelyeken nem rajzolódik ki gombakör, továbbá az átfedő képek.

A tanításhoz 720 képet sikerült kiválogatni.

Ebből:

- 504 kép tanító - 70%
- 144 validáló - 20%
- 72 teszt

képet választottam ki véletlenszerűen.

A tanítószett összeállításánál szempont, hogy az ortofotó készítés 60% -os lefedettség igényénél előny volt, az most hátránynak bizonyult, hiszen így több ismétlődő körrészlet is lehet egy-egy tanítóképen. A tanítószett összeállítása ennek figyelembe vételével történt.

A címkézés a folyamat időigényes része, a 720 kép címkézése megközelítőleg 1 munkanapot vett igénybe.

4. Eredmények és értékelésük

4.1.Felvételezési tapasztalatok

A felvételezések magasságára 40 m-t határoztam meg. Ezzel a gombakörök elemzéséhez szükséges részletgazdagság elérhető úgy, hogy közben a repülési tervek nem bonyolultak a terepakadályok miatt.

Fák és tereptárgyak a felvételező eszközre sem jelentenek veszélyt, a 120 kV-nál magasabb feszültségű távvezetékek egyedi tervezést igényelnek, szerencsére ez a magyarországi területeknek kis részét érinti.

A felvételezés fényviszonyaira ügyelni kell, a szórt fény a legjobb, továbbá a kevés árnyékot adó déli felvételezések is eredményesek.

A művelés teljes mértékben elrontja a textúrát, művelés után több hónap amíg a gombakörök felvételre alkalmas állapotba kerülnek.

Felvételezésre legalkalmasabb a március, április hónap, a vizsgált területen júniusra elhalványodik, majd egész évesben nem volt felvételezési lehetőség. Kora tavaszi időpontokban célszerű az ortofotókat elkészíteni.

Termőtestképzés időszakára a gombakörök elhalványodnak, vagy teljesen eltűnnek a kora tavaszi felvételekhez viszonyítva

A vizsgált területről ortofotót készítettem különböző időpontokban. Az ezeken látható gombaköröket azonosítani lehet és termőtestképzés idején meg lehet mondani milyen fajhoz tartozik. Ez időben lassan változik, a termőtestképzés a körökön történik, ezen kívül elvétele találtunk termőtestet. Az ortofotók elkészítése és fajmeghatározás után hosszú ideig segítséget nyújtanak abban, hogy gombaszedésnél célirányosan keressük a nagy termőképességű területeket.

Az idősoros fajmeghatározáson átesett ortofotók lehetőséget biztosítanak további kutatások elvégzésére az egyes fajok növekedési tulajdonságaira, gombakör növekedési jellegzetességeire vonatkozóan.

4.2.MI tanítás eredményei

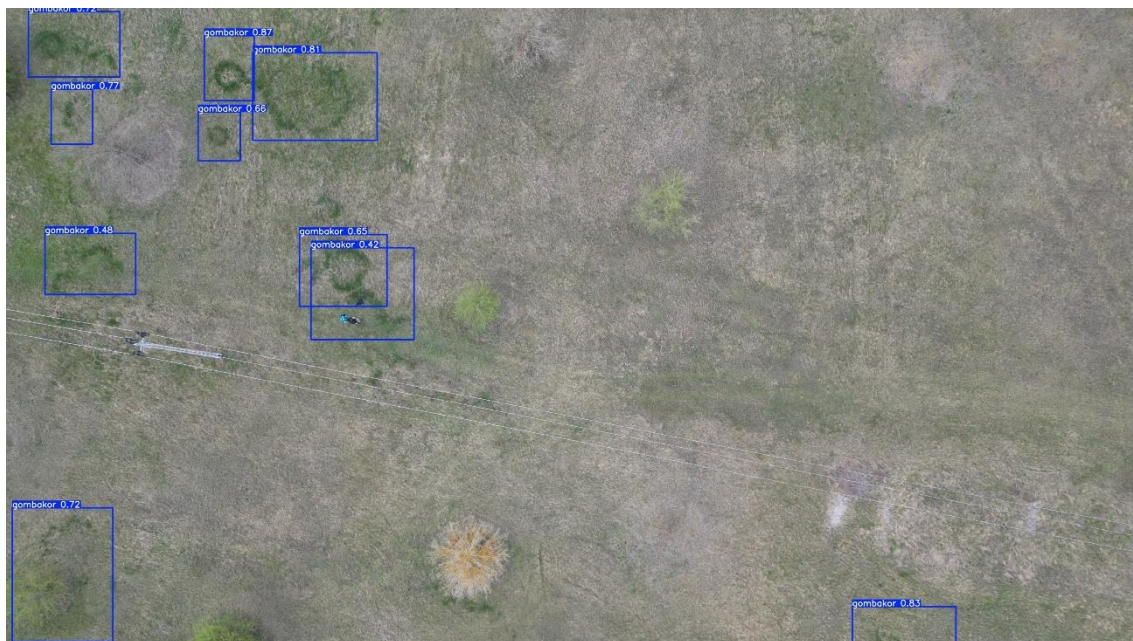
A feltanítás lehetővé teszi, hogy a készült képeken könnyen azonosíthatóak legyenek a gomba körök. A létrejött kis méretű modell beágyazott eszközökben is

használható, továbbfejlesztéssel megtanítható a drón az automatikus gombakör keresésre és jelzésre, ezzel még nem járt területen is növelve a gombaszedés hatékonyságát.

A betanítás után a tesztépeken 0.4- 0.7 feletti megbízhatósági értékkel sikerült a tesztképeken a gombaköröket felismerni. Ez ugyan kisebb, mint a YOLO modelleknel határozott kontúrú objektumoknál megszokott, de a 24-27. ábrákon látható, hogy a gombakörök nagy részét helyesen azonosította.



24. ábra – Gombakörök felismerése tesztképeken 1 (saját fotó és feldolgozás)



25. ábra – Gombakörök felismerése tesztképeken 2 (saját fotó és feldolgozás)



26. ábra - – Gombakörök felismerése tesztképeken 3 (saját fotó és feldolgozás)



27. ábra - – Gombakörök felismerése tesztképeken 4 (saját fotó és feldolgozás)

A tanítás eredményeként előálló súlyok exportálhatóak az univerzálisan felhasználható nyilvános ONNX formátumba, mely lehetővé teszi, hogy beágyazott rendszerek is szabványosan használhassák a gombakörre tanított neurális hálózat előnyeit [17].

5. Összefoglalás

A dolgozatban kijelölt célkitűzéseimet teljes mértékben sikerült megvalósítanom. Egy választott területen teljes termőszezonos idősoros légifelvételést hajtottam végre gombakörök feltérképezése céljából. A gombakörök felvételezésére egy módszertant dolgoztam ki, különös tekintettel az optimális felvételezési magasság meghatározására. A készült felvételeket YOLO rendszer igényeinek megfelelő előkészítettem. A mesterséges intelligenciát betanítottam gombakörök felismerésére, meg tudtam vizsgálni, hogy létre tudok-e hozni olyam modellt, ami jól felismeri a köröket és a későbbiekben drónos keresésre használható.

A célkitűzésben feltett kérdésekre is választ kaptam a kutatás során:

- A gombakörök légifelvételzés segítségével jobban elkülöníthetőek, mint a földfelszínről. A dolgozatban is említett példával bizonyítva, hogy esetenként csak légifelvételzéssel különíthető el. (17-18. ábra)
- A gombakörökön lényegesen nagyobb a termőtest találati aránya termő időszakban. A tapasztalat szerint nagyon kevés a nem gombakörön képződött termőtest találatok száma
- A gombakörök nem felvételezhetőek egész évben, a környező dúsuló vegetáció, művelés és száraz időszakok megakadályozzák a felvételezést.

A dolgozat eredményei mellett továbbfejlesztési lehetőségeket is előre vetít. A gombakörök intenzitása és mennyisége a biodiverzitás jelzője lehet.

Az egyes gombafajok más-más textúrázottságot mutatnak. További adatgyűjtéssel és terepi munkával a létrehozott ortofotók alapján meg lehetne jelölni az egyes körökön termő fajokat, a különböző fajok köreit AI tanítani, és vizsgálni, hogy idegen terepen a körök tulajdonságai alapján tudunk-e következtetni a várhatóan megjelenő fajokra.

Továbbfejlesztési lehetőség és kutatási téma lehet annak megvizsgálása, hogy ezek a gomba körök más spektrális tartományokban milyen képet mutatnak, nyerhető e többletinformáció más tartományú képek elemzésével a növekedésükről, életmódjukról, esetleg olyan időszakban, amikor a vizuális tartományban nem látszanak lehet e valamilyen módon vizsgálni.

A kidolgozott módszertan alkalmas arra, hogy védett gombák termőterületét monitorozzuk non-invazív módon. Figyelhetjük a növekedést, elterjedést, érte e valami sokkhatás a területet. Meghatározhatjuk a növekedési ütemét. várható jövőbeli állapotát.

A gombakörterkép és talajtani vizsgálatok segítségével matematikai modellt alkothatunk a terjedés mikéntjére, idősoros elemzéssel a modellt validálhatjuk.

Éves idősoros felvételezés esetén lehetőség nyílik a gombafajok terjedési ütemének vizsgálatára. Fajonként van eltérés a gombakörök tágulásának mértékében?

Az elkészült ortofotókon fajszinten megállapított körök segítségével vizsgálható, hogy az egyes fajok milyen más réten élő növényekkel alkotnak társulást? Esetleg ki tudunk-e mutatni mikorrhiza kapcsolatot?

Fejleszthető több napközbeni felvételezéssel olyan felismerő létrehozása, ami terepakadály által árnyékolt vagy részben árnyékolt gombakörökkel is tanított. Ennek előnye, hogy bármilyen repülési időben nagyobb hatékonysággal tudja felismerni a köröket.

6. Irodalomjegyzék

1. Jakucs Erzsébet: Gombaszakértői praktikum, Flaccus kiadó, ISBN: 9786155278280
2. Laessle, Thomas - Petersen, Jens H. : Fungi of Temperate Europe - Volume 1+2, Princeton Univers. Press, 2019
3. Ewald Gerhardt Vasas Gizella Locsmándi Csaba - Gombászok kézikönyve - 1448 gombafaj leírásával, Cser kiadó, 2023
4. Magyar Mikológiai Társaság felsőfokú gombatanfolyama - Szeberényi Attila szakdolgozat- A szolnoki Szandai rét őzlábgalócáinak felmérése, 2018
5. DJI Mini 3 Pro felhasználói kézikönyv
https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_3_Pro/UM/20230328/DJI_Mini_3_Pro_User_Manual_v1.6_EN.pdf Letöltés dátuma: 2024.10.11
6. Stuart Russell, Peter Norvig - Artificial Intelligence A Modern Approach, Prentice Hall, 2024
7. Giuliano Bonanomi, Antonio Mingo, Guido Incerti, Stefano Mazzoleni & Marina Allegranza: Fairy rings caused by a killer fungus foster plant diversity in species-rich grassland , Journal of Vegetation Science 23 (2012) 236–248
8. Maurizio Zotti , Francesca De Filippis, Gaspare Cesarano , Danilo Ercolini , Giulio Tesei , Marina Allegranza , Francesco Giannino , Stefano Mazzoleni and Giuliano Bonanomi: One ring to rule them all: an ecosystem engineer fungus fosters plant and microbial diversity in a Mediterranean grassland, :New phytologist,2020
9. Teresa Marí, Carles Castano , Antonio Rodríguez , Mercedes Ibanez Agustín Lobo , M.-Teresa Sebastia : Fairy rings harbor distinct soil fungal communities and high fungal diversity in a montane grassland, Fungal Ecology 2020
10. Nicole Salvatori, Mauro Moreno, Maurizio Zotti, Annalisa Iuorio, Fabrizio Carteni , Giuliano Bonanomi , Stefano Mazzoleni & Francesco Giannino: Process based modelling of plants–fungus interactions explains fairy ring types and dynamics , Nature – Scientific reports
11. Gordon Rutter: Fairly rings - Field Mycology Volume 3(2), April 2002
12. Bruno P. Kremmer: Fák – Őshonos és betelepített fafajok Európában. M-érték Kiadó, 2006 ISBN:9637304800

13. Marina Allegrezza, Giuliano Bonanomi, Maurizio Zotti, Fabrizio Carteni, Mauro Moreno, Letizia Olivieri¹, Matteo Garbarino, Giulio Tesei, Francesco Giannino, Stefano Mazzoleni: Biogeography and shape of fungal fairy rings in the Apennine mountains, Italy, Wiley – Journal of Biogeography, 2021
14. Magyar Madártani Egyesület – Nagyfeszültségű oszloptípusok
https://mme.hu/sites/default/files/monitoring/nagyfeszultsegu_120-750_kv_oszloptipusok.pdf Letöltés dátuma: 2024.10.11
15. YoloLabel hivatalos weboldal, https://github.com/developer0hye/Yolo_Label
Letöltés dátuma 2024.10.11
16. YOLO 5 hivatalos weboldal, <https://docs.ultralytics.com/yolov5/> Letöltés dátuma 2024.10.11
17. ONNX formátum hivatalos weboldal, <https://onnx.ai/> Letöltés dátuma: 2024.10.11
18. TorchScript hivatalos weboldal, <https://pytorch.org/docs/stable/jit.html>, Letöltés dátuma 2024.10.11
19. YAML hivatalos weboldal, <https://yaml.org/> Letöltés dátuma: 2024.10.11
20. GitHub hivatalos weboldal, <https://docs.github.com/en> Letöltés dátuma: 2024.10.11
21. Google Colab dokumentáció, <https://colab.research.google.com/> Letöltés dátuma: 2024.10.11
22. Vaibhav Verdhhan: Computer Vision Using Deep Learning, Apress, 2020, ISBN: 978-1-4842-6615-1
23. David Paper: State-of-the-Art Deep Learning Models in TensorFlow – Modern Machine Learning in the Google Colab Ecosystem, Apress, 2021, ISBN: 978-4842-7340-1
24. Ronald T. Kneusel: Math for Deep Learning, No starch press, 2022 ISBN: 978-1-7185-0190-4
25. Nimish Sanghi: Deep Reinforcement Learning with Python, Apress, 2021 ISBN: 978-1-4842-6808-7
26. Jeremy Howard, Sylvain Gugger: Deep Learning for Coders with fastai&PyTorch, O'Reilly 2020 ISBN: 978-1-492-04552-6
27. Sebastian Raschka, Yuxy (Hayden) Liu, Vahid Mirjalili, Dmytro Dzhulgako: Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn , Packt Publishing, 2022 ISBN: 9781801819312

28. Luciano Ramalho - Fluent Python, 2nd Edition, O'Reilly , 2022 ISBN:
9781491946008
29. Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili: Python Machine Learning, Packt
Publishing, 2019 ISBN: 9781789955750
30. Laurence Moroney: AI and Machine Learning for On-Device Development,
O'Rely, 2021 ISBN:9781098101749

Lezárás dátuma: 2024.