

UAV-alapú monitoringrendszerek és egy 3D-s UAV-vezérlési technológia fejlesztése

KIRÁLY Tamás

DOI: 10.30921/GK.74.2022.4.3

Absztrakt: Cégünk 2019 és 2021 között egy GINOP K+F pályázat keretében több modern geodéziai műszeren alapuló felmérési technológiát fejlesztett ki. A következőkben ezek közül mutatunk be két technológiai megoldást, egyrészt a pilóta nélküli légi járműveken alapuló monitoringrendszerek kialakításának módját mezőgazdasági, illetve bányaterületek esetén, valamint egy, a megszokottól eltérő UAV-vezérlési technikát, amellyel drónunkat nem csak vízszintes értelemben tudjuk automatizáltan navigálni és felmérni egy adott területet, hanem függőleges értelemben is tetszőleges módon repülhetünk, és így komplexebb műtárgyak felmérése is lehetségessé válik.

Abstract: Between 2019 and 2021, our company developed multiple surveying technologies based on modern geodetic instruments within the framework of a GINOP R&D tender. In the following, we present two technological solutions: on the one hand the development of an UAV-based monitoring system, which can be used in agricultural field or at mining areas; on the other hand, a not so common UAV control technique, with which we can not only automatically navigate and survey a given area in a horizontal sense, but in the vertical sense either we can fly in any way and thus it becomes possible to survey more complex artefacts.

Kulcsszavak: UAV-vezérlési technika, mezőgazdasági monitoring, bányaterületek monitoringja, 3D-s felmérés

Keywords: UAV control technic, agricultural monitoring, monitoring of the mining areas, 3D survey

Bevezető

Szakterületünkön a pilóta nélküli légi járművek egyre szélesebb körben elterjedtek. Több szakmai cikk és konferencia-előadás is készült már ebben a témakörben, de talán a mezőgazdasági felhasználásáról – földmérői szemmel – még kevés szó esett; hogyan is valósítható meg egy ilyen jellegű monitoringrendszer, illetve, hogyan alkalmazható mindez külszíni bányák esetében.

Az UAV-ok elterjedésével, azok automatizált navigálása nagymértékben lekövette a korábbi nagy gépes repülések metodikáját, azaz egy adott terület rácshálós lerepülését. Sajnos az UAV-ok nagyfokú mozgékonyasága eddig nem került kellő mértékben kiaknázásra, hogy azok automatizált navigációját ne csak kétdimenziós síkban, hanem háromdimenziós térben végezzük, egy részletgazdagabb felmérés érdekében.

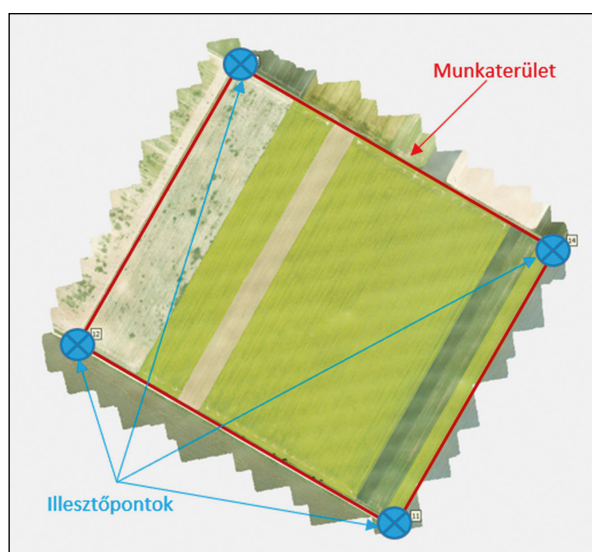
A következőkben ezen két technológia kerül bemutatásra.

Monitoringrendszerek kialakítása mezőgazdasági és külszíni bányaterületeken, drónokkal

Napjainkban egyre nagyobb igény jelentkezik a mezőgazdaságban a precíziós gazdálkodásra. Ennek támogatására fejlesztett cégünk egy monitoringrendszert, mellyel nyomon követhető egy mezőgazdasági terület időbeli változása, tetszőleges időközökkel. A kialakított rendszerrel bármilyen más terület megfigyelése

is lehetséges, beruházási területek vagy külszíni bányáké is. A következőkben egy ilyen rendszernek a felépítését tekintjük át.

A drónos repülések előkészítésének első lépése a szükséges illesztőpontok kihelyezése. Ezeket ideális esetben a kijelölt terület (1. ábra) külső sarokpontjai mentén szükséges elhelyezni, hogy a lehető legjobb eloszlású geometriát kapjuk. Ezáltal a számítások során a szoftverek mindenhol interpolációval számolnak, nincsen szükség extrapolációra, ami bizonytalanná tenné az eredményeket.



1. ábra. Területi lehatárolás



2. ábra. DJI Phantom 4 Pro

Az illesztőpontokat érdemes úgy elhelyezni, hogy azokat a gépek mozgása ne semmisítse meg az idő előrehaladtával.

Olyan drón használata esetén, ami beépített RTK-vevővel rendelkezik, adott esetben használhatunk kevesebb illesztőpontot is, de magasabb pontossági igények esetén érdemes itt is minél többet használni.

Egy olyan munkaterület esetén, ahol több éves távlatban rendszeres mérések várhatóak, érdemes az illesztőpontokat állandósítani, valamilyen védőművel ellátni őket, hogy a munkagépek ne tegyék tönkre azokat, és ne mozduljanak el. Így az ismételt GNSS-mérések mellőzhetőek, minden repüléshez ugyanazok a jelek ugyanazokkal a koordinátákkal használhatók.

A repülések kivitelezése többféle drónnal is történhet. Amennyiben kisebb munkaterületről van szó, és például csak valódi színes fényképeket akarunk készíteni, használhatunk kisebb méretű DJI-drónt (2. ábra), de ha nagyobb terület érintett, akkor érdemesebb merev szárnyú drónt használni (3. ábra), melyre többféle kamera is felhelyezhető, akár infrakamera is.

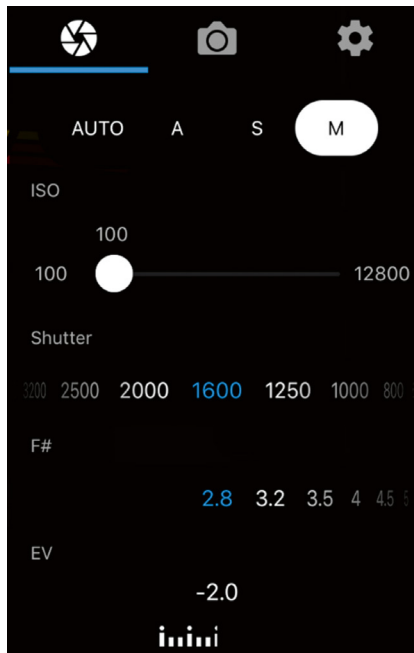
A repülések kivitelezése különböző szoftvekkal történhet, egyes drónok több vezérlőt is támogatnak, míg másoknál külön rájuk szabott szoftvert kell használni. A területalapú repülést mindegyik szolgáltatja, és mindegyikben hasonlóan működik.



3. ábra. Flytech Birdie

A repülés útvonalának beállításakor elsőként meg kell adnunk a repülni kívánt terület határait. A kijelölt határpontok között beállítjuk a kívánt sor- (front overlap ratio) és oldaltávolságot (side overlap ratio). Ezek beállításával azt határozzuk meg, hogy az egyes fényképek között mekkora átfedés legyen. Minél nagyobb értéket állítunk be, annál nagyobb pontosság és pontsűrűség érhető el. Ezt a pontossági értéket a repülésvezérlő szoftverek általában megjelenítik számunkra az adott kamerára vonatkoztatva. Cserélhető kamera esetén ezt nekünk kell tapasztalati úton kiszámítani.

A pontosságot befolyásoló tényező még a repülési magasság és a repülés sebessége. A repülés sebességét nem célszerű magasra állítani, mivel a fényképek elmosódhatnak, és az akkumulátor is relatíve gyorsabban merül nagy sebességen. A repülés magasságát a kívánt pontosság függvényében kell beállítani, magasabb repülés esetén pontatlan, alacsonyabb repülésnél pontosabb eredményt kapunk a képek jobb felbontása miatt, adott kamera esetén. Beállíthatjuk még a területen a repülési sorok irányát is, amivel optimalizálhatjuk a repülés idejét, illetve merev szárnyú drónoknál különösen érdemes figyelni a szélirányt is, hogy ne legyen oldalirányú sodródás.



4. ábra. Fényképezési beállítások

A repülések kivitelezése szempontjából a másik fontos terület, amivel foglalkozni kell, az a készített fényképek beállításai (4. ábra). Ezeket mindig az időjárási körülményekhez kell optimalizálni. Itt fontos megjegyezni, hogy ezek alapján a repülés időpontját is célszerű a meteorológiai helyzet alapján megválasztani, hogy úgymond kiegyensúlyozott körülmények legyenek. A változékony idő nem hat jól a mérési eredményekre, ha a repülés közben egyszer napsütés, majd felhős idő van, attól a számított ortofotó foltossá válik, és az rontja a végtermék minőségét. Ezért a repülés idejét vagy napsütéses időre, vagy teljesen felhős időre kell időzíteni, kerüljük a változóan felhős időjárást. A fényképek beállításai során három érték a legfontosabb: az érzékenység (ISO), a záridő (Shutter) és a mélységélesség (F#). Ezek megfelelő beállításával kell elérnünk, hogy a fehéregyensúly (EV) 0 közeli érték legyen. Így a fényképek nem lesznek se túl világosak, se túl sötétek. Ezt az értéket mindig a fotózni kívánt tárgyhoz kell beállítani, tehát ha nagy a kontraszt a munkaterületünk és a környezet között, akkor természetesen a munkaterületünkre optimalizáljuk. Ezt egy rövid próbarepülés során tudjuk beállítani.

Az ISO értékét érdemes a minimális, 100-as értékre beállítani, mivel ennél nagyobb érték esetén a kép elkezd kis mértékben zajosodni, ami nem előnyös a végtermék szempontjából. Nagyon sötét felhős időben érdemes lehet 200-as vagy 400-as értékre állítani, amitől világosabb lesz a kép, és még csak enyhe mértékben zajosabb. A záridő beállítása során érdemes minél nagyobb értéket választani, hiszen, ekkor a fotózás során rövid ideig van nyitva a rekesz, így a fénykép elmosódása egészen minimális lesz. Az 1/800-600 alatti értékek esetén már megjelenhet elmosódás a fotókon, viszont így több fény jut be a rekeszen, világosabb lesz a kép. A mélységélesség beállításával jobban tudjuk szabályozni a fotók fehéregyensúlyát. Itt, ha magasabb értéket választunk sötétebb, ha alacsonyabb értéket, akkor világosabb eredményt kapunk.

Itt érdemes megjegyezni, hogy a fókusz manuálisan végtelenre kell állítani, hiszen nagy magasságból fotózunk úgymond közel végtelenbe. A beállítások között találunk egy fehéregyensúly- (White Balance) beállítási lehetőséget, ahol megadhatjuk, hogy milyen fényviszonyok között repülünk; ezt is célszerű az időjárás szerint beállítani. Repülés közben a beállításokon már ne módosítsunk, mert a szoftveres kiértékelés során ez számítási hibát okozhat, és a kapott ortofotó is színfoltos lehet miatta.

A repülések irodai feldolgozására szintén többféle szoftver áll rendelkezésünkre: pl.: 3DSurvey, Agisoft Photoscan... Alapvetően valódi színes képek feldolgozására és illesztőpontok beazonosítására minden ilyen szoftver képes, de infraképek feldolgozására vagy a drónon elhelyezett RTK-vevő mérési eredményeinek felhasználására már nem mind. Erre tapasztalunk szerint az Agisoft Photoscan a legalkalmasabb.

A mérések feldolgozásának menete minden szoftverben hasonló. A képek egymáshoz illesztése, ritkapontfelhő-számítás – tájékozás a kihelyezett illesztőpontok beazonosítása alapján – részletespontfelhő-számítás – felszínmodell-számítás – ortofotószámítás. Minden egyes lépés esetén célszerű végiggondolni, hogy számunkra milyen részletgazdagságú végtermék szükséges, de azt szem előtt kell tartani, ha például egy ritkább pontfelhőt hozunk létre, akkor abból egy rosszabb felbontású felszínmodell tudunk csak készíteni, illetve egy kisebb cellaméretű felszínmodellből gyengébb minőségű ortofotót tudunk csak generálni.

A különböző időpillanatokban elvégzett repülések összessége alapján egy idősort kapunk az adott területről, amelyen keresztül követhetjük annak számunkra releváns változását.

A mezőgazdasági területeken ezzel a technológiával több kérdés is megválaszolható és támogatható a precíziós gazdálkodás. Például egy

területen jól beazonosítható, hogy az hol gyomosodik (5. ábra) nagymértékben, így célirányosan lehet gyomirtózni, a vadkáros területek (6. ábra) kimutatása is lehetséges, de a nem egyenletes növekedésű területek kiértékelése is, hogy ezeken a területeken a műtrágyázás célzottan történhessen. Az így kiértékelte területek koordinátái kigyűjthetők és a megrendelő számára átadhatók, ezáltal egy GNSS-rendszerrel felszerelt munkagép képes ezekre a területekre koncentráltan anyagot juttatni.

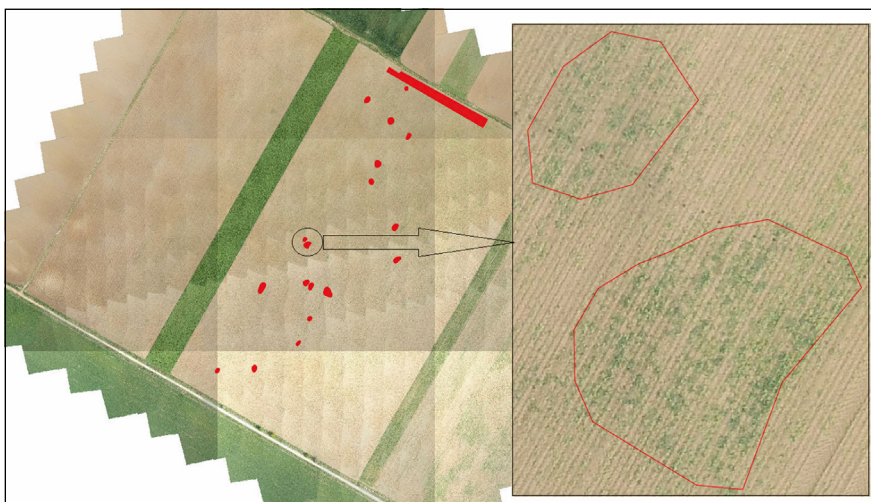
Az infravörös képek felhasználása során olyan, a növényzetet leíró adatokat is kaphatunk, amelyeket a szabad szemmel látható színtartományban nem láthatnánk. Ezekből a képekből a növényzet vitalitása olvasható le.

A termények növekedési üteme is jól nyomon követhető ezzel a technológiával. A termény magassági növekedésének adatait a pontfelhőből tudjuk kinyerni. Ezáltal, ha a növény magassági növekedése a fejlődésének indikátora, ezzel a módszerrel az is követhető.

Az ilyen adatokat nem csak pontosan kérhetjük le, de a területről létrehozott felszínmodellek összehasonlításával is. Ezek a felületek leképezik a vetés magassági változásait.

A két időpontra vonatkozó felületek közötti különbséget is számolhatjuk, és a magassági különbséget izovonalas térképen ábrázolhatjuk is. Ezekből az eredményekből az egyes területek növekedési tendenciái olvashatók le.

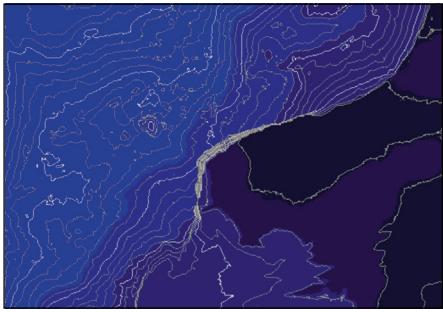
Hasonló technikával nyomon követhető egy külszíni bánya kitermelési üteme is. Amellett, hogy látható a területen a különböző gépek mozgása, a kitermelt terület is pontosan beazonosítható, a kitermelt mennyiség is számítható és vizualizálható egy ilyen monitoringrendszer segítségével. A kitermelés előtti állapotra (7. ábra) a terület lehatárolása után egy felület illeszthető. A kitermelés utáni állapot (8. ábra) szintén felmérésre kerül ezzel a technikával. A két felület közötti térfogat különbsége számítható és a különbséget megjeleníthető izovonalas térképen (9. ábra).



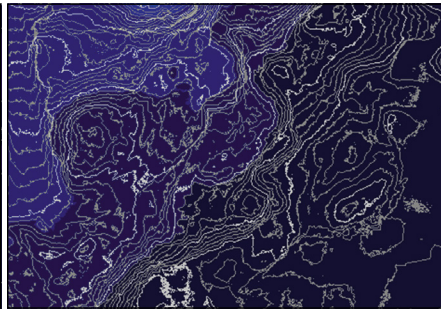
5. ábra. Gyomos területek kiértékelése



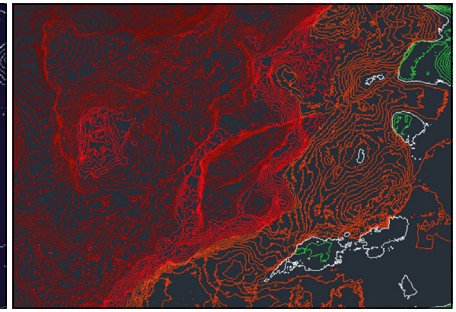
6. ábra. Vadkáros területek felmérése



7. ábra. Külszíni bánya kitermelés előtti állapota



8. ábra. Külszíni bánya kitermelés utáni állapota



9. ábra. Kitermelési különbség

Háromdimenziós UAV repülésirányítási rendszer

A „hagyományos repülésirányítási rendszerek” alapvetően kétféle technikán alapulnak: vagy egy lehatárolt terület felett bizonyos oszlop- és sortávolsággal egy adott magasságon vezérelhetjük a drónt, vagy egy nyomvonal mentén, több soron repülhetünk végig. Mi ezeken túllépve egy háromdimenziós vezérlést dolgoztunk ki, amely segítségével nem területek vagy nyomvonalas létesítmények felmérését, hanem magasabb építmények: templomok, műemlékek, adótoronyok, szélkerekek és rácsos szerkezetek felmérését lehet megvalósítani.

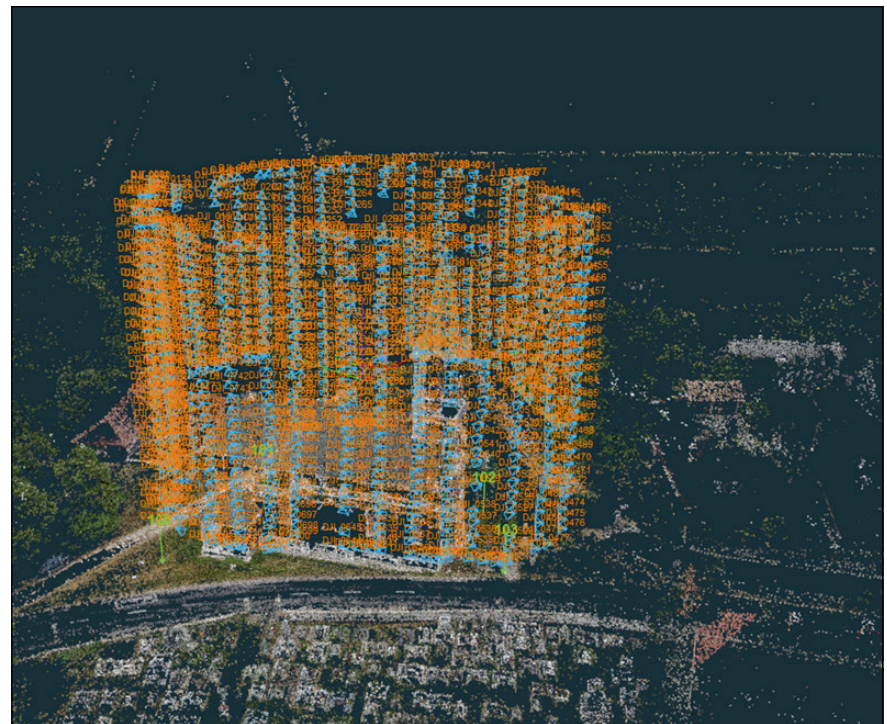
Az alábbiakban leírt technológiával bármilyen műtárgy teljes körű felmérése végezhető el drónnal úgy, hogy oldalirányból is fényképezzük automatizált módon. Így egy részletgazdagabb 3D-s pontfelhőállomány és akár homlokzatrajz is létrehozható. A terepi vezérlés Litchi szoftverrel történik, ehhez precíz nyomvonal-meghatározás szükséges.

Ahhoz, hogy egy ilyen repülést kivitelezünk, elsőként az érintett objektum kontúrjainak és környezetének

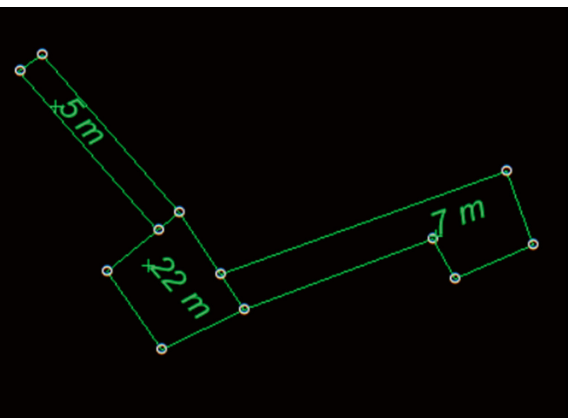
körülbelüli felmérésére van szükség EOV-rendszerben (10. ábra) (természetesen bármilyen más tetszőleges vetületi rendszer alkalmazható, de az UAV navigációs rendszerébe történő transzformációnak biztosítottak kell lennie). A felmérésnek ki kell

terjednie az objektum magassági viszonyaira is.

A felmérés célja, hogy a köré tervezhessük a repülés háromdimenziós nyomvonalát, tehát elegendő egy elnagyolt sematikus felmérés, de érdemes bemérni azokat az akadályokat és



11. ábra. Repülésvezérlés nyomvonala



10. ábra. Felmérendő műtárgy sematikus felmérése

fákat is a felméréndő objektum körül, amiket mindenképpen szeretnénk elkerülni a repülés során. Ezekről érdemes a tervezés során 3-4 méteres távolságot tartani, hogy semmiképpen ne repüljünk neki az automatizált vezérlés során.

A felmérés alapján megtervezzük a repülés nyomvonalát (11. ábra). A vezérlőszoftverben 3D-s koordinátpontokat adhatunk meg, melyek között egyenes nyomvonalon repül a drón. Alapvetően azt a technikát érdemes követni, hogy a drón függőleges „oszlopokat” repül az objektum körül, és közben oldalirányban mindig oszlopot vált. A legnagyobb felbontás és pontosság eléréséhez DJI Phantom 4 Pro drónunk esetén az „oszlopok” közötti távolságot 4 méter körülnek volt érdemes megválasztani, amennyiben az objektumtól való távolságunk 10-15 méter. Ebből a távolságból az elkészített fényképeken elég nagy felbontásban leképeződik az objektum minden eleme. Ilyen esetben a 4 méteres oszlopok közötti távolsággal a kellő 70-80%-os fényképek közötti átfedést el tudjuk érni, így centiméteres pontosság és az alatti pontsűrűség érhető el. Nagyobb objektumtávolság

esetén nagyobb oszlopközt választhatunk, amivel arányosan csökkenni fog a pontsűrűség és a pontosság is.

A megtervezett pontok koordinátáit át kell transzformálnunk WGS84-es rendszerbe (1. táblázat), mivel a drón rendszere ezt a vetületi rendszert képes kezelni. Az egyes pontokban meg kell adnunk a kívánt magasságokat és a drónon található fényképezőgép tengelyének az északi iránnyal bezárt szögét. A pontok ebben a táblázatban duplán szerepelnek, mivel a drón az első ponttól egyenesen sebességgel repül az egyik beállított magasságról a második megadott magasságra. Ott oszlopot vált, és csökkenti a magasságát a következő pontra és így tovább az utolsó pontig. Itt érdemes megjegyezni, hogy a programban megadott magasság nem Balti vagy ellipszoid feletti magasság, hanem a felszállás pontjától számított relatív magasság. Így a tervezés során azt is figyelembe kell venni, hogy hol fogunk felszállni, és ahhoz viszonyítsuk a repülési magasságokat. A felszállást érdemes az 1-es pont közelébe helyezni. A drón irányának megadásánál azt szükséges figyelembe venni, hogy a megelőző

és a következő repülési oszlopokkal az átfedés biztosított legyen, illetve hogy az objektumnak a fotózni kívánt területei a fényképeknek lehetőleg a középső részén legyenek, hiszen a kamera erre a területre fókuszál majd. Itt érdemes még megemlíteni, hogy a fényképezés irányát csak vízszintes értelemben tudjuk megadni, a kamera függőleges döntési szögét egy tetszőleges fix pozícióra állíthatjuk, de akár menet közben változtathatjuk is.

Az elkészült fájlt a Litchi szoftver online felületén (<https://flylitchi.com/>) importálhatjuk és beállíthatjuk a repülés további általános paramétereit: A repülés sebességét (Cruising speed) nem szabad túl nagyra állítani a fényképeken tapasztalható elmosódás elkerülése érdekében, főleg mivel esetünkben elég rövid a tárgy távolság. A tapasztalatok alapján 3-4 km/h sebesség az ideális. A fényképek oszlopokon belüli exponálását (Photo Capture Interval) távolság alapján érdemes szabályozni; valahol 2-4 méter között beállítani, annak függvényében, hogy milyen közel repülünk az objektumhoz, és mekkora átfedést akarunk a képek között elérni. Közeli objektumtávolság esetén kisebb, nagyobb objektumtávolság esetén nagyobb értéket is beállíthatunk a megfelelő felbontás eléréséhez.

A fényképezőgép magassági döntésénél (Default Gimbal Pitch Mode) a disabled módot kell választani, és repülés közben ezt az egy paramétert nekünk magunknak beállítani. Mivel a drón repülését amúgy is mindig követnünk kell, hogy bármilyen probléma esetén közbeavatkozhassunk, így eközben tudjuk állítani a kamera döntési szögét, annak függvényében, hogy merre akarunk fotózni. Az elkészült tervet menthetjük az online felületen, és később a terepen azt elő tudjuk hívni a felhőből.

A repülés helyszíni kivitelezése előtt még illesztőpontokat kell elhelyezni az objektum körül, melyek a repülés során jól láthatóak lesznek, és így az EOVRendszerbe történő transzformáció a képek kiértékelésénél szintén kivitelezhető. Ezeket lehet az épület köré a földre, vagy akár magára az épületre is elhelyezni.

1. táblázat. Nyomvonal-meghatározás táblázata

pontszám	koordináták		magasság	irány
1	47.0392638062	17.8944055780	7	109
1	47.0392638062	17.8944055780	45	109
2	47.0392845157	17.8944402683	45	150
2	47.0392845157	17.8944402683	7	150
3	47.0393052253	17.8944749585	7	150
3	47.0393052253	17.8944749585	45	150
4	47.0393261637	17.8945100387	45	165
4	47.0393261637	17.8945100387	7	165
5	47.0393384844	17.8945594916	7	166
5	47.0393384844	17.8945594916	45	166
6	47.0393499703	17.8946055673	22	166
6	47.0393499703	17.8946055673	20	166
7	47.0393511039	17.8946581703	20	197
7	47.0393511039	17.8946581703	45	197
8	47.0393522376	17.8947107864	45	197
8	47.0393522376	17.8947107864	20	197
9	47.0393533388	17.8947619687	20	226
9	47.0393533388	17.8947619687	45	226
10	47.0393259097	17.8947960273	45	243
10	47.0393259097	17.8947960273	7	243



12. ábra. Homlokzatrajz

A repülés során a fényképek megfelelő beállításaira ugyanolyan figyelmet kell fordítani, mint azt korábban részleteztük. Jelen esetben különösen kerülni kell az erőteljes napsütést, mert a műtárgy egyik oldaláról a képek sötétek, a másik oldaláról viszont túlexponáltak lesznek. A kivitelezett repülés után a fényképeket az előző fejezetben ismertetett módon tudjuk feldolgozni és a kívánt pontfelhő állományt létrehozni.

Itt fontos megjegyezni, hogy a feldolgozás során lehetőségünk van homlokzatrajzok készítésére is (12. ábra). Ehhez 3DSurvey szoftverben a számított pontfelhőre egy rácshálót illesztettünk, melyet a fényképek alapján textúrálunk. Ebben a texturált TIN-hálós modellben kell kijelölnünk azt a területet, melyről homlokzatrajzot kívánunk készíteni tetszőleges nézetből. Ez alapján a szoftver kiszámítja a mérethelyes homlokzatrajzot.

A drónos repülésből létrehozott pontfelhőállományt érdemes kombinálni lézerszkenneres felmérési anyagokkal, így mindkét technológia előnyei kihasználhatók. A drónos repülés eredményét a fent leírtak szerint EOVRendszerben hoztuk létre. Hasonlóan megtehetjük ezt a lézerszkennelésből származó pontfelhővel is úgy, hogy az alappontokat itt is EOVRendszerben határozzuk meg. A megfelelő pontosság elérése érdekében mindkét technológia esetén ugyan azt az alappont/illesztőpont-meghatározási technikát használjuk. Amennyiben elegendő a GNSS-technológia nyújtotta pár centiméteres abszolút pontosság, akkor azt használjuk, de ha nagyobb a pontossági igényünk, akkor alkalmazzunk mérőállományt, illetve adott esetben szintezést, és a két mérési technológiához használt különböző alappontokat/illesztőpontokat kapcsoljuk egy rendszerbe.

Az azonos vetületi rendszerbe transzformált pontfelhőállományokkal egyszerre dolgozhatunk egy közös állományban. Ennek az a fő előnye, hogy a földről könnyen megközelíthető és belátható területekről lézerszkennéssel könnyebb nagy pontosságú felmérést készíteni, míg a magasban, nehezen megközelíthető és a földről egyáltalán nem látható területekről a drónos technológiával ez könnyen megtehető. Ilyen módon elkészíthető templomok vagy más magas építmények teljes körű felmérése.

Összefoglaló

Az előbbiekben bemutatott fejlesztéseink mindegyike olyan témakörben készült, melyek napjaink UAV irányú trendjeibe jól illeszkednek. A mezőgazdaság területén a drónok alkalmazása a precíziós gazdálkodás megvalósításához ma már elengedhetetlen, és egyre szélesebb körben alkalmazzák itthon is, nem csak tőlünk nyugatabbra; illetve külszíni bányák felmérése is egyre gyakrabban történik ilyen módszerekkel.

A háromdimenziós UAV repülésirányítási rendszerünkhöz hasonlóval eddig még nem találkoztunk a piacon, az ilyen feladatok kivitelezését kézi irányítással szokták megoldani a pilóták, így reméljük az általunk kialakított metódus számukra hasznos információkat nyújt majd a jövőben.

Irodalom

Lehoczky Máté – Siki Zoltán 2020. Fotogrammetriai feldolgozószoftverek Geodézia és Kartográfia 72. évf. 2. szám pp. 23–27.

DOI: 10.30921/GK.72.2020.2.4

Holéczy Ernő – Siki Zoltán 2021. Az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek felújítása korszerű technológiákkal Mérnök Újság 2021. októberi szám pp. 48–51.



Király Tamás
földmérő- és
térinformatikai
mérnök

Pannon Geodézia Kft.
kiraly@vp.pannongeodezia.hu