



ÉPÜLETEK KÜLSŐ SZTEREO-FOTOGRAMMETRIAI FELMÉRÉSÉNEK PONTOSÍTÁSÁRA IRÁNYULÓ MÓDSZERTANI FEJLESZTÉS

METHODOLOGICAL DEVELOPMENT TO IMPROVE THE ACCURACY OF EXTERNAL STEREO-PHOTOGRAMMETRIC SURVEYS OF BUILDINGS

Rák Olivér,¹ Bakai Nándor,² Motasem Altamimi³

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, PTE MIK BIM SKILLS LAB kutatócsoport, rak.oliver@mik.pte.hu

² Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék PTE MIK BIM SKILLS LAB kutatócsoport, bakai.nandor@mik.pte.hu

³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék PTE MIK BIM SKILLS LAB kutatócsoport

Abstract

Although unmanned aircraft (UA) based surveys are becoming a more common solution, their accuracy is questionable. Regulation is a major issue in the use of UA, which is currently having a negative impact on the spread of the technology. Many rules need to be applied during the survey and there are hundreds of settings to use during post-processing. Testing and evaluation of several combinations is necessary for an optimized process definition. In the present research, studies have been carried out focusing on different solutions of survey methodologies. The case studies analyzed different survey, flight rules and their combinations. The study presents the advantages and disadvantages of using UA and makes recommendations for survey methodologies through the evaluations carried out. In addition, several future research directions are presented which could lead to the advancement of building surveys.

Keywords: *unmanned aircraft, building survey, accuracy.*

Összefoglalás

Napjainkban a pilóta nélküli légi járművekkel (UA) végzett felmérések egyre elterjedtebb megoldásnak számítanak, azonban azok pontossága megkérdőjelezhető. A szabályozás nagy jelentőséggel bír az UA alkalmazásában, mely technológia elterjedésére jelenleg negatívan hat. Számos szabályt szükséges alkalmazni felmérés közben, és több száz beállítás közül választhatunk az utófeldolgozás során. Több kombináció tesztelése és kiértékelése szükséges egy optimalizált folyamatmeghatározáshoz. Jelen kutatásban a felmérési módszertanok eltérő megoldásaira fókuszáltnak készültek vizsgálatok. Az esettanulmányokban az eltérő felmérési, repülési szabályrendszerek és azok kombinációi kerültek elemzésre. A tanulmány bemutatja az UA alkalmazásának előnyeit és hátrányait, valamint az elvégzett kiértékelések révén javaslatokat fogalmaz meg a felmérési módszerek vonatkozásában. Ezenfelül számos jövőbeni kutatás irány is ismertetésre került, melyek az épületfelmérések fejlődéséhez vezethetnek.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légi jármű, épületfelmérés, felmérési pontosság.*

1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek (UA – Unmanned Aircraft) felhasználásával végzett felmérések már régóta ismertek, azonban építőipari felhasználása csak az utóbbi évtizedben kezdett elterjedni [1–7]. A felmérőeszközök és utófeldolgozó szoftverek, algoritmusok fejlődése hozzájárul a technológia széles körű elterjedéséhez. Manapság már egy kezünkben tartott telefonnal is képesek vagyunk sztereó-fotogrammetriai kiértékelést és geometriai leképezést végrehajtani. Természetesen ezek eredményessége és felhasználhatósága megkérdőjelezhető, azonban néhány egyszerű felhasználási cél támogatható általa. A professzionális eszközök alkalmazásával épületek, építmények akár centiméterpontos felmérése is lehetségessé válik. [8] Ahhoz, hogy megfelelő minőségű végeredményt kapjunk meghatározott szabályrendszerek szerint szükséges a felmérést és utófeldolgozást végezni, azonban ezek nagyvonalú, általános irányelvek formájában kerültek a szakma és szoftvergyártók által megfogalmazásra. Ahhoz, hogy hatékonyan és kellő biztonsággal tudjunk felmérési munkát végezni, ezen meghatározások pontosítására és tesztelésére van szükség.

1.1. Jelenlegi szabályok és utasítások

Attól függően, hogy milyen eszközökkel készül a felmérés, változhatnak a felmérés módszertani szabályai, valamint az utófeldolgozás lehetőségei is.

1.1.1. Általános szabályok

Általános szabályként említhető, hogy a sztereó-fotogrammetria alkalmazása esetén szükség van megfelelő mértékű természetes fényre, kerülendő a teljesen homogén és tükröződő felületek. Mivel passzív távérzékelési eljárásról van szó, ezért fizikai kontaktust nem létesítünk a felmérendő épülettel, építménnyel. Pillanatfelvétel készül, ahol a felületről visszaverődő fény szolgáltatja a felméréshez szükséges adatállományt. [9] Ezt követően az utófeldolgozó szoftver a készített képeken egyező pontpárokat keres, melyek tükröződő és homogén felületek esetén vagy nem lehetséges, vagy hibás eredményhez vezethetnek. Ezenfelül javasolt a képkészítő eszköz GPS-adatainak mentése és képekben való tárolása, mivel ezáltal a képek pozicionálása pontosabb és gyorsabb folyamattá válhat. Az eddigieken felül fontos még a megfelelő képátfedés (kb. 80%), valamint minél nagyobb képfelbontás és fix beállítások alkalmazása. [10]

1.1.2. Homlokzatok felmérésére vonatkozó szabályok

Épületek homlokzati felmérése esetén az utófeldolgozó szoftverek által javasolt a merőleges kép-készítési pozíció alkalmazása, amely földi kép-készítés esetén problémás lehet, azonban pilóta nélküli légi járművekkel ez megvalósítható. [10]

1.1.3. Hiányzó szabályok

Az előző fejezetekben leírt szabályok betartása a legtöbb esetben megfelelő végeredményhez vezet. Azonban a felmérés során bejárt útvonalak optimalizálásával további hatékonyságnövekedés érhető el. Jelen kutatás célként tűzte ki, hogy megvizsgálja a felmérések optimálisútvonal-lehetőségeit egy kis léptékű épülethomlokzat esetén. Alaptézisként került megfogalmazásra, hogy egy rendezett adathalmazzal (jelen esetben fotóállománnyal) optimalizálható a felmérés, és megfelelő minőségű végeredmény állítható elő.

2. Alkalmazott eszközök és vizsgálati módszerek

2.1. Eszközök

A vizsgálatok, felmérések során elsődlegesen egy DJI mavic 2 enterprise drónt használtunk, mely megfelelő repülési és képkészítési tulajdonságokkal rendelkezik. A sztereó-fotogrammetriai utófeldolgozáshoz 3DF ZEPHYR szoftvert használtunk, mely előzetes tesztjeink alapján megfelelő végeredményt képes generálni.

A felmérés eredményességét egy referenciaállomány segítségével mértük, mely állomány egy földi lézerszkennerral készített regisztrált pontfelhő volt. Az alkalmazott eszköz Leica BLK 360 gen. 2 volt, amelyet a legmagasabb felbontással használtunk (1. ábra). A szkennelt állomány regisztrálását követően a generált állomány CloudCompare szoftverben került összehasonlításra.



1. ábra. A felmért épülethomlokzat lézerszkennelt állománya

2.2. Módszertanok

A felmérési módszertanok fejlesztése és optimalizációja során a módszertani lépések megegyeztek. Ezen lépések a **2. ábrán** kerültek bemutatásra, ahol jól látható, hogy az 1. lépés a fotózás, 2. lépés a pontfelhő-generálás, 3. lépés a pontfelhő-manipulálás, 4. lépés az összehasonlítás.

A repülési variációk során figyelembe vettük az általános szabályokat (az 1.1.1 fejezet szerint), és azok felhasználásával kerültek meghatározásra a repülési útvonalak és kombinációk (**3. ábra**).

Korábbi felmérési tapasztalatunk szerint a repülési irányok és a fotózás sorrendisége befolyásolja az utófeldolgozás minőségét. Jelen kutatás során automata fotókészítés volt beállítva az eszközön 3 másodperces gyakorisággal.

A fotózási útvonalakon felül fontos megemlíteni a pilóta nélküli légi járművön elhelyezett kamera pozícióját. A vizsgált módszertanok esetén a repülések túlnyomó részét elvégeztük +25 fok és -25 fok vízszinteshez viszonyított kameraszöggel. Ezenfelül még a távolságot vizsgáltuk a variációk szempontjából, ahol a drónon lévő távolságérzékelő segítségével került beállításra a kb. 2,5 és kb. 5 méteres repülési távolság. Ezek kombinációjából 19 különböző repülést végeztünk az alábbi, **1. táblázat** szerint.

3. Eredmények

A sztereo-fotogrammetriai kiértékelés eredményei legtöbb esetben megfelelő sűrűségű és alakú pontfelhőállományt eredményeztek (**4. ábra**). Ezáltal mindegyik állomány alkalmas volt az összehasonlítás elvégzésére.

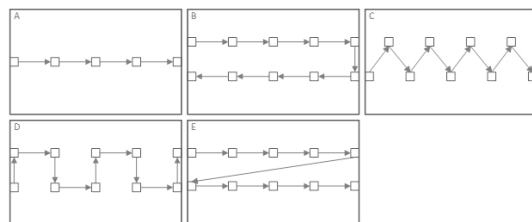
A kutatás részeként többféle kiértékelési módszertan került alkalmazásra. Ezek közül az első a pontfelhő-összehasonlítás volt, ahol a szoftver a pontok alapján meghatározott feltételezett síkok szerint hasonlítja össze a pontok egymástól való távolságát. Jelen összehasonlítás esetén a CloudCompare „compute cloud/cloud distance” funkcióját használtuk. A szoftver a pontok távolságát 8 részegységre bontva összesítette számunkra, amely egy 0–5 cm-ig terjedő skála felosztásán alapult. Ezeket 4 fő egységre átszámítottuk, ezáltal 1,25 cm-ként értékeltük a pontfelhők pontosságát a lézerszkennelt állományhoz képest. A tisztított és pozicionált pontfelhők összehasonlításából a különböző kategóriákba eső pontok darabszámát kaptuk meg, melyet a teljes pont darabszámához arányosítva tudtunk százalékos értéket kapni. A **5. ábrán** látható az összesített eredmény, melyből jól látszik, hogy majdnem mindegyik

1. táblázat. A kutatás során végzett repülések módszertani összesítése (a betűkódok a **3. ábrával** összhangban értelmezhetők)

Sorszám	Repülési útvonal	Távolság mértékegység (m)	Kameraszög (°)
001	A	2,5	0
002	A	5	0
003	B	2,5	0
004	B	5	0
005	C	2,5	0
006	C	5	0
007	D	2,5	0
008	D	5	0
009	E	2,5	0
010	E	5	0
011	A	5	+25°
012	B	5	+25°
013	E	5	+25°
014	D	5	+25°
015	A	5	-25°
016	B	5	-25°
017	E	5	-25°
018	D	5	-25°
019	C	5	-25°



2. ábra. Módszertani logikai ábra



3. ábra. Repülési útvonalakat szemléltető ábra



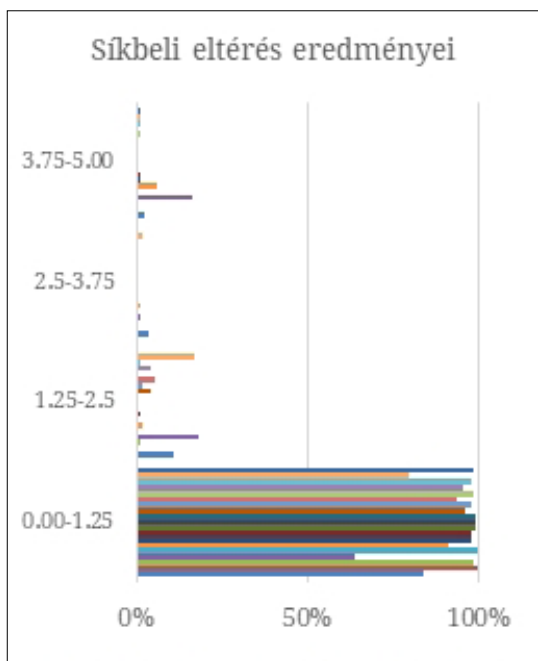
4. ábra. A sztereo-fotogrammetriai kiértékelés végtermékeként előállított pontfelhőállomány (019-es felmérés esetén)

felmérési eljárás magas minőségű, 1,25 cm alatti pontosságot mutat. Ettől a 001, 004 és 018-as számú mérések térnek el. A 001-es mérés esetén a pontok 83,74%-a, a 004-es mérés esetén a pontok 63,86%-a, míg a 018-as számú mérés esetén a pontok 79,72%-a esett a jelölt tartományba. A többi mérés esetén a pontok több mint 90%-a esett a 0–1,25 cm tartományba, ezáltal nagyon csekély eltérést mutatva a lézerszkennelt állományhoz képest. Ezt az eredményt árnyaltuk egy úgynevezett „local modell” lehetőség alkalmazásával, amely nagy eltérést nem mutatott az előzőekben leírt

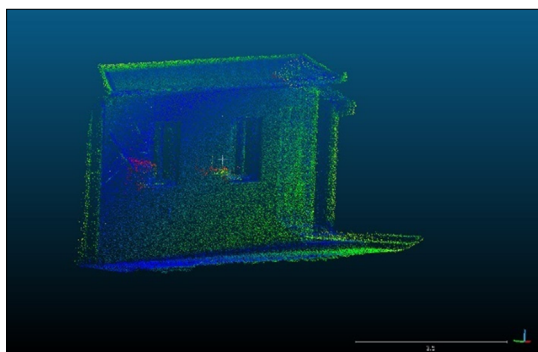
számításhoz képest, azonban a pontosítás miatt átlagoltuk a két értéket.

A 6. ábrán látható, hogy a szoftver vizuális vizs-
zacsatolást is kínál a pontfelhő pontjainak színezésével. A beállított, 0–5 cm-ig terjedő skála alapján a kék színtől egészen a piros színig színezi a pontokat a távolságok függvényében. Így a jövőben akár pontos adatelemzés nélkül is megbecsülhető a pontok szórása és a pontfelhő pontossága egy referenciaállományhoz viszonyítot-
tan.

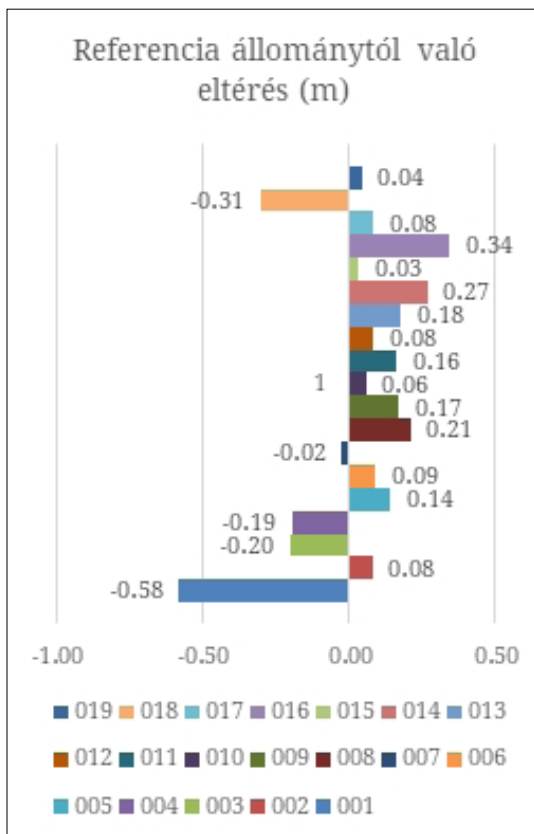
A kiértékelés során látható volt, hogy a pontok szórása mellett a teljes pontfelhő torzulása, méretbeli eltérése is problémás lehet. Ezért összevetettük a lézerszkennelt állományon mért teljes homlokzathosszúságot a sztereo-fotogrammetriai kiértékelés végeredményeként kapott pontfelhőállományok hosszúságával. A 7. ábrán látható, hogy a referenciaállományhoz képest (9,034 m) milyen mértékű eltérés látható a pontfelhőállományokon. Ebből ugyancsak következtethetünk a pontfelhők pontosságára, hiszen, ha egy kb. 9 mé-



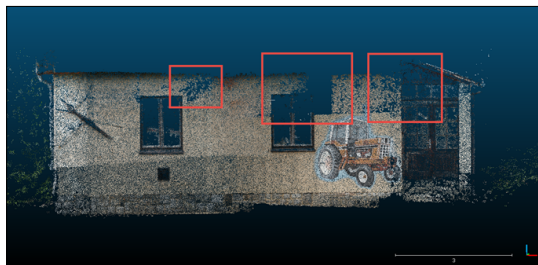
5. ábra. A pontfelhő-pontfelhő összehasonlításból származó pontossági értékek 0–5 cm-ig terjedő skálán bemutatva



6. ábra. Színezett pontfelhő a síkbeli eltérések alapján



7. ábra. A referenciaállományhoz viszonyított homlokzathossz-eltérések az egyes felmérések esetén



8. ábra. Felmérési állomány hiányosságai

ter hosszú homlokzat esetén több mint fél méter eltérést tapasztalunk, az súlyos probléma. Természetesen léteznek eljárások, melyek segítségével a pontfelhő utólagosan manipulálható, valamint a felmérés pontosabbá tehető (pl.: targetek alkalmazásával), azonban jelen kutatás célja, hogy a nyers állományok esetén vizsgálja a pontfelhők megfelelőségét a pontosságuk szempontjából.

A vizsgálat eredményeként kijelenthető, hogy a vizsgálati szempontok alapján a 002., 005., 006., 007., 010., 012., 015., 017., 019. számú felmérési módszertan megfelelőnek tekinthető, míg a többi esetén kardinális eltérések tapasztalhatók a lézerszkennelt állományhoz képest.

A kutatás folytatásaként vizsgálni fogjuk a generált felületek részletgazdagságát, mivel sok esetben vizuálisan látható, hogy hiányosak a pontfelhők (8. ábra).

Célunk, hogy a módszertani javaslatokat 2-3 főbb repülési javaslatra szűkítsük. Ezenfelül az itt alkalmazott tesztelési eljárásokat nagyobb léptékű épületek, építmények esetén is vizsgálni fogjuk, mely összehasonlítás ugyancsak eltérő eredményhez vezethet.

4. Következtetések

Jelen kutatás a sztereo-fotogrammetriai felmérések pilóta nélküli légi járművel történő alkalmazását vizsgálta, mely során eltérő repülési és fotózási módszertanok kerültek elemzésre. A kutatás fő célja a fotózási szabályrendszer tovább pontosítása volt, a homlokzati felmérésekre fókuszálva. A kutatás során vizsgáltuk az eltérő módszertanok végeredményének pontosságát pontfelhő-összehasonlítások révén. A felvázolt repülési útvonalak, távolságok és kamerapozíciók egy-egy esetet kívántak szemléltetni, de a kutatás a későbbiekben bővíthető ezen variációk kombinálásával, új megoldások fejlesztésével.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-4. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Filippelli S. K., Lefsky M. A., Rocca M. E.: *Comparison and Integration of Lidar and Photogrammetric Point Clouds for Mapping Pre-Fire Forest Structure*. Remote Sensing of Environment, 224. (2019) 154–166.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.029>
- [2] Somogyi Á., Lovas T., Barsi Á.: *Comparison of Spatial Reconstruction Software Packages Using DSLR Images*. Pollack Periodica, 12/2. (2017) 17–27.
<https://doi.org/10.1556/606.2017.12.2.2>
- [3] Kenarsari A. E., Vitton S. J., Beard J. E.: *Creating 3D Models of Tractor Tire Footprints Using Close-Range Digital Photogrammetry*. Journal of Terra-mechanics, 74. (2017) 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.06.001>
- [4] Ferraby R., Powlesland D.: *Heritage and Landscape Change: Recording, Archiving and Engaging with Photogrammetry on the Jurassic Coast World Heritage Site*. Proceedings of the Geologists' Association, 130/3–4. (2019) 483–492.
<https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2019.02.007>
- [5] O'Driscoll J.: *Landscape Applications of Photogrammetry Using Unmanned Aerial Vehicles*. Journal of Archaeological Science: Reports, 22. (2018) 32–44.
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.09.010>
- [6] Rák O., Szilágyi D.: *Photogrammetry Possibilities and Rules Focusing on Architectural Usage*. Pollack Periodica, 15/1. (2020) 187–196.
<https://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.18>
- [7] Colomina I., Molina P.: *Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92. (2014) 79–97.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- [8] Oniga E., Chirilă C., Stătescu F.: *Accuracy Assessment of a Complex Building 3D Model Reconstructed From Images Acquired With a Low-Cost UAS*. IThe International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W3. (2017) 551–558.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-551-2017>
- [9] Baltsavias E. P.: *A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54/2. (1999) 83–94.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00014-3)
- [10] "3DF Zephyr Manual 7.500 English.pdf."