



ULTRA-SÁVSZÉLESSÉGŰ (UWB) VEZETÉK NÉLKÜLI TECHNOLÓGIÁVAL VÉGZETT ÉPÜLETFELMÉRÉS ÉS ALGORITMUSSAL TÁMOGATOTT ÉPÜLETMODELLEZÉS

BUILDING GEOMETRY SURVEY BY USING ULTRA- WIDEBAND (UWB) WIRELESS TECHNOLOGY AND ALGORITHM-BASED BIM MODELLING

Máder Patrik,¹ Rák Olivér,² Bakai Nándor³

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, BIM Skills lab kutatócsoport, Pécs, Magyarország, mader.patrik@mik.pte.hu

² Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, BIM Skills lab kutatócsoport, Pécs, Magyarország, rak.oliver@mik.pte.hu

³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, BIM Skills lab kutatócsoport Pécs, Magyarország, bakai.nandor@mik.pte.hu

Abstract

The efficiency and degree of maturity of the architectural survey determine the construction process in many ways. From the economic and technical point of view, it is significant. It can be found in almost all activities and, depending on the technology used, it provides different qualities and quantities of initial data and information to prepare and support, among other things, the design, demolition, and construction work processes. The objective of the research and development project and this article is to investigate and demonstrate the application of a novel solution that differs from the conventional building survey tools, methods, and procedures of the information. It breaks with traditional methods by implementing wireless (using Ultra-Wideband (UWB) technology) spatial positioning and algorithm-based post-processing methods, as well as Building Information Modelling (BIM).

Keywords: building survey, building information modeling, ultra-wideband technology.

Összefoglalás

Az építészeti felmérés hatékonyságának és korszerűségének mértéke több szempontból is meghatározza az építőipari folyamatokat. Gazdasági és műszaki oldalról megközelítve is kijelenthető, hogy nagy jelentőséggel bír. Szinte minden tevékenységben megtalálható, és technológiájától függően különféle minőségű, mennyiségű kiindulási adatot és információt szolgáltat többek között a tervezési, bontási, kivitelezési munkafolyamatok előkészítéséhez, támogatásához. A kutatásfejlesztési program és a cikk célja olyan újszerű megoldás alkalmazásának vizsgálata és bemutatása, amely eltér a szokványos épületfelmérések eszközeitől, módszereitől és az előállított információk feldolgozási módjától. Szakítva a hagyományos eljárásokkal, vezeték nélküli (ultra-sávszélességű, azaz UWB-technológiát alkalmazva) térbeli pozicionálást és algoritmusokkal támogatott utófeldolgozást, valamint építményinformációs modellezést (BIM) valósít meg.

Kulcsszavak: épületfelmérés, építményinformációs modellezés, ultra-sávszélességű technológia.

1. Bevezetés

Manapság számos felmérőeszköz érhető el, amelyek működési technológiájuk alapján csoportokba rendezhetők.

Léteznek ma már hagyományosnak nevezhető megoldások, mint például a mérőszalag és az egyszerű lézeres távolságmérő, amelyek hatékonysága kompromisszumokhoz kötött. Az eredmények minőségének befolyásoló tényezője leginkább maga a kezelő személy.

Ezzel párhuzamosan egy másik, már kifejezetten digitalizált munkavégzésre kialakított eszközcsoport népszerűsége folyamatosan növekszik. Ezek azok a berendezések, amelyek már sok esetben minden jelenleg elérhető műszaki megoldással fel vannak szerelve. Közéjük tartoznak többek között a különféle kiterjesztettség-, virtuálisvalóság- (AR-, VR-) alapú megoldások is. Viszont a technológiának ára is van, ugyanis a berendezések, eszközök magas bekerülési költsége mellett a kezelő személyzet is magas vagy legalábbis magasabb szaktudással kell, hogy rendelkezzen, mint a hagyományos eszközök esetén. A felmérés során elérhető hatékonyság szempontjából az emberi tényező befolyásoló hatása háttérbe szorul (leginkább az eszközkezelésre korlátozódik), és az elérhető minőség, pontosság leginkább az eszközök hardveres és szoftveres megoldásaitól függ. Azonban a felmérési információk feldolgozása és elfogadott műszaki tervvé, vagy modellállományokká alakítása még ebben az esetben is emberi, mérnöki erőforráshoz kötött.

Úgy gondoljuk, hogy ezeken felül célszerű egy harmadik kategóriát is megalkotni. Ebbe tartoznak véleményünk szerint azok a megoldások, amelyekben a célspecifikus hardverösszetevők (akár egyedi kialakításban) összekapcsolásra kerülnek, és kiegészülnek célzott programokkal, algoritmusokkal. Utóbbiak nagy segítségre lehetnek a tervezőszoftverekkel történő olyan sajátos kapcsolat kiépítésében, amelyek kiterjesztik az egyébként különböző formában már létező általános megoldások és programfunkciók lehetőségeit. [1]

1.1. Ultra-Wideband- (UWB-) technológia

Az UWB egy olyan vezeték nélküli kommunikációs technológia, amelyet leggyakrabban a magas pontosságú térbeli helymeghatározásra használnak. [2] Maga a technológia a széles frekvenciasávú jeleket (általában több GHz-es tartományban) használja adatátvitelre, jellemzően nagyon rövid impulzusok és energiafelhasználás mellett. [2, 3]

Az alkalmazott rendszerek jellemző felépítését tekintve fix horgonypontokból és egy vagy több mozgó egységből állnak. [2] Utóbbiak pozíciója a horgonypontokhoz viszonyítva matematikailag összefüggések segítségével kerül meghatározásra. [4] A technológia népszerűségének növekedése az elmúlt évekre tehető. Megfizethetővé váltak a hardverek és egyre több fogyasztói termékben is megjelentek (pl. Apple Iphone 11). [5] Alapvető nehézsége, hogy a horgonypontok egymáshoz viszonyított pozíciója legbiztosabban manuális mérések segítségével állapítható meg. Természetesen ezt áthidalóan fejlesztés alatt állnak az önkalibrációt és az együttműködésen alapuló lokalizációt lehetővé tévő technikai megoldások is. [6, 7] Pontosságát tekintve, a környezeti adottságtól is függően számos szakirodalom a 20 cm vagy annál kisebb centiméteres tartományban helyezi el [8], amely már éppen elegendő ahhoz, hogy a jövőbeli fejlesztéseket követően az épületfelmérések egy lehetséges, jövőbeli, korszerű alternatívája legyen. A jelenlegi kutatás erre alapozva fogalmazódott meg, és célja az ilyen irányú felhasználás lehetőségeinek vagy akadályozó tényezőinek feltárása.

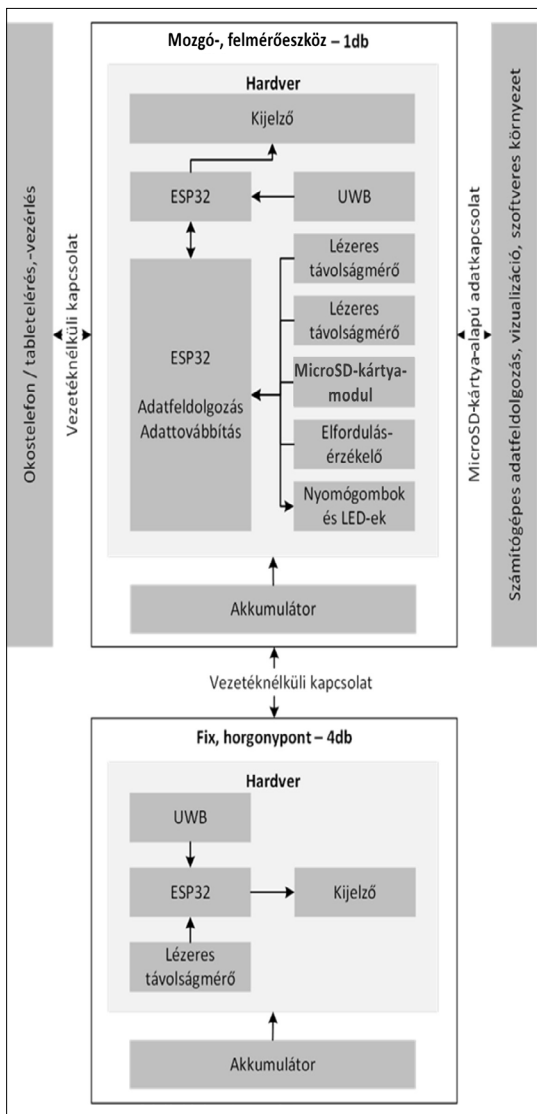
2. Konceptió, kialakítás, felépítés

Figyelembe véve azokat az alapvető célkitűzéseket, amelyek egy olyan eszközszerkezet létrehozásának vizsgálatát irányozták elő, amely segítségével épületszerkezeti pozíciók rögzítése, majd algoritmusokkal támogatott automatizált utófeldolgozása válik lehetővé egy nem megszokott technológia (UWB) használatával, már alapvetően is számos nehézséget tartogatott magában. A témában folytatott szakirodalmi kutatás pedig rávilágított arra, hogy a kezdeti elképzelések összetettsége csupán töredéke volt annak, ami a technológia valóságban történő alkalmazásával jár.

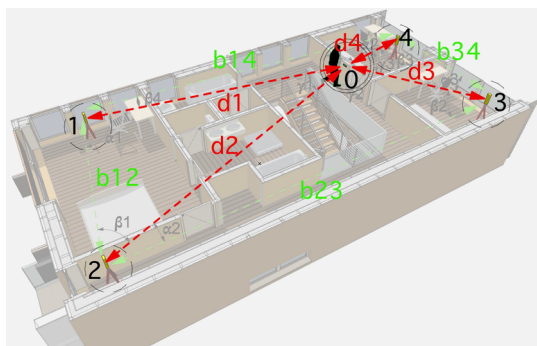
Ettől függetlenül az elképzelt felhasználási mód megvalósítására való törekvés továbbra is prioritást élvez. A távoli cél egy olyan újszerű eszköz és szoftveres környezet felépítése, amelyben egy egyszerű épület felmérése minimális emberi erőforrás bevonásával könnyen elvégezhető, és 3D-vagy BIM-modellezése automatizálható.

2.1. Kialakítás és felépítés

Annak érdekében, hogy a legkiterjedtebb kutatást és fejlesztést lehessen lefolytatni, már a folyamatok elején ki kellett terjeszteni a használandó eszközök körét (1. ábra).



1. ábra. Hardveres felépítés logikai vázrajza



2. ábra. Működési logika

Hamar egyértelművé vált, hogy nem elég kizárólag a Decawave DW1000-típusú UWB-modul, hanem szükség van még számos szenzor és kiegészítő hardver működésének összehangolására.

A vezérlő elektronika alapegysége minden különálló modul esetén egy-egy ESP32 programozható mikrovezérlő, amely lehetővé teszi az alkotó hardverek együttműködését és ezáltal az építészeti felmérési folyamatok Wi-Fi-protokollon keresztüli vezetékek nélkül vezérlését.

Az ESP32-modulokhoz kapcsolódnak VL53L0X [9]-és VL53L1X [10]-típusú lézeres távolságmérő egységek is, amelyek a mozgó felmérőegység esetén a padló és a mennyezet műszertől mért távolságát mérik, a horgonypont esetén pedig az elhelyezési szinttől mért magasságot.

Ezekon felül a felmérőegység rendelkezik egy gyorsulás- és elfordulásérzékelő szenzorral, amely az eszköz helyzetéről közöl információkat a mérés során (pl.: függőleges, ferde vagy vízszintes állapotban van).

Kiegészítő hardver még többek között egy MicroSD-kártya-modul, amelyre a mérés során történő adatrögzítés valósul meg, és egy-egy funkciógomb, valamint visszajelző led.

Természetesen minden egység rendelkezik akkumulátorral és a mérési folyamat releváns adatainak (pl.: távolság a horgonypontoktól, alsó, felső távolság) megjelenítésére szolgáló OLED, 1.3" 128*64 felbontású kijelzővel. Utóbbi a horgonypontok esetén biztosítja, hogy az üzembiztonságukról meg lehessen bizonyosodni, valamint azt, hogy az egyedi hálózati azonosítójuk látható legyen. A mérőműszer esetén pedig lehetővé teszi a legfontosabb információk leolvasását.

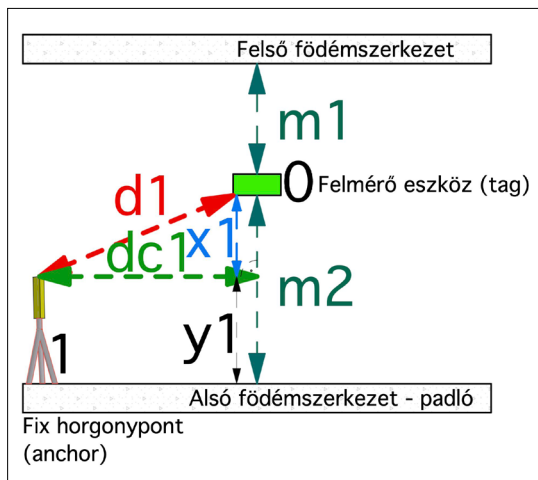
Mivel a mobilos megjelenítő a tervek szerint minden adatot részletesen fog tartalmazni, az egységen látható információk csak a legszükségesebbekre fókuszálnak.

3. Működési mechanizmus

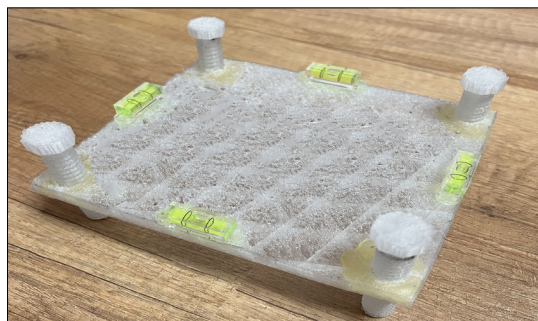
A megtervezett felmérési és adatrögzítési folyamat a horgonypontok épületen belüli elhelyezésével kezdődik (2. ábra).

Jelenlegi projektfázisban a horgonypontok (2. ábra – 1, 2, 3, 4) egymástól való távolsága (2. ábra – b12, b23, b34, b14) még minden pozícionálás során megméréndő és rögzítendő a számításokhoz használatos matematikai trigonometriai egyenletekbe. A távolság rögzítéséhez ez esetben egy hagyományos lézeres távolságmérő és mérőszalag kerül felhasználásra.

Ezenfelül rögzítésre kerül a horgonypont padlósíktól mért távolsága is annak érdekében, hogy



3. ábra. Függőleges pozíció meghatározása



4. ábra. Szintezőasztal

5. ábra. HTML-weblap előzetes felépítése

ne csak vízszintes síkon tudjon megvalósulni az épületszerkezetek pozícióinak kalkulációja, hanem valós, 3 dimenziós térbeli felmérési pontok váljanak számíthatóvá (3. ábra – y_1).

A horgonypontok elhelyezését követően a felmérőegység kalibrációját szükséges elvégezni. Ezt is csak a mérési folyamatok kezdetén kell teljesíteni. Ehhez 3D-nyomtató segítségével elkészítésre került egy szintezőasztal, amelyre az eszközt ráhelyezve, beállítható a vízszintes tengely helyzete (4. ábra).

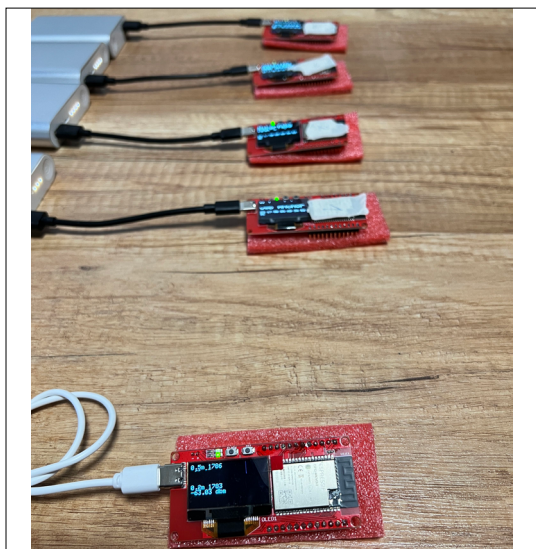
Ennek hiányában kevésbé megbízható információk generálódnak az eszköz tájolásáról. A félrevezető adatokat el kell kerülni, mert befolyásolják a végeredményként készítendő BIM-modell pontosságát.

Előkészületként szükség van még mobiltelefonnal vagy tablettel az eszköz által létrehozott hálózathoz Wi-fi-protokollon keresztül csatlakozni, és az általam definiált 192.168.6.66 IP-címen elérhető weblapot megjeleníteni. A tervek szerint a felmérőeszköz vezérlése és a mérés nyomon követése ezen keresztül valósítható meg (5. ábra).

A végső verzió elkészítése során szempont lesz, hogy egy modern kinézetű, rezponzív felület jöjjön létre.

A felmérés munkafolyamata ezt követően megkezdhető (6. ábra).

Az épületet besétálva, a rögzítendő épületszerkezetek síkjára helyezve a felmérőegységet, az (gombnyomásra vagy a webalapú felület funkcionalitását kihasználva) rögzíti a horgonypontok-



6. ábra. UWB-modulok

24	Distance1: 1290	Distance2: 22	X: -0.09	Y: 0.00	Z: -0.19
25	Distance1: 1683	Distance2: 22	X: -0.02	Y: 0.00	Z: -0.18
26	Distance1: 2004	Distance2: 22	X: -0.02	Y: 0.00	Z: -0.18
27	Distance1: 1686	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.00	Z: -0.17
28	Distance1: 1827	Distance2: 23	X: -0.01	Y: 0.01	Z: -0.16
29	Distance1: 1805	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.00	Z: -0.16
30	Distance1: 1767	Distance2: 22	X: -0.01	Y: 0.01	Z: -0.15
31	Distance1: 1886	Distance2: 22	X: -0.01	Y: 0.01	Z: -0.14
32	Distance1: 1947	Distance2: 23	X: -0.02	Y: 0.01	Z: -0.13
33	Distance1: 1857	Distance2: 22	X: -0.02	Y: 0.01	Z: -0.13
34	Distance1: 1770	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.01	Z: -0.13
35	Distance1: 1644	Distance2: 23	X: -0.01	Y: 0.01	Z: -0.12
36	Distance1: 1973	Distance2: 22	X: -0.02	Y: 0.01	Z: -0.11
37	Distance1: 1979	Distance2: 23	X: -0.01	Y: 0.02	Z: -0.11
38	Distance1: 1805	Distance2: 23	X: -0.02	Y: 0.02	Z: -0.09
39	Distance1: 1633	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.02	Z: -0.09
40	Distance1: 1854	Distance2: 21	X: -0.02	Y: 0.02	Z: -0.08
41	Distance1: 1867	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.03	Z: -0.07
42	Distance1: 1601	Distance2: 23	X: -0.00	Y: 0.04	Z: -0.05
43	Distance1: 1845	Distance2: 21	X: 0.00	Y: 0.04	Z: -0.05
44	Distance1: 1777	Distance2: 21	X: -0.00	Y: 0.04	Z: -0.05
45	Distance1: 1820	Distance2: 22	X: 0.00	Y: 0.05	Z: -0.05
46	Distance1: 1755	Distance2: 22	X: 0.01	Y: 0.05	Z: -0.03
47	Distance1: 1879	Distance2: 23	X: -0.00	Y: 0.06	Z: -0.02
48	Distance1: 1622	Distance2: 23	X: 0.01	Y: 0.06	Z: -0.02
49	Distance1: 1967	Distance2: 23	X: 0.02	Y: 0.06	Z: -0.01
50	Distance1: 1667	Distance2: 22	X: 0.00	Y: 0.05	Z: -0.00
51	Distance1: 1896	Distance2: 23	X: -0.00	Y: 0.06	Z: 0.01
52	Distance1: 1877	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.06	Z: 0.02
53	Distance1: 1938	Distance2: 21	X: -0.01	Y: 0.05	Z: 0.03

7. ábra. Mérés során generált adatok

tól való távolságát (2. ábra – d1, d2, d3, d4), és így a szerkezet térbeli pozícióját, valamint a helyes műszerkalibrációt követően azok helyzetét.

Az épületszerkezetek irányultságának és felületi síkjának meghatározása az elfordulásérzékelő adatait felhasználva történik.

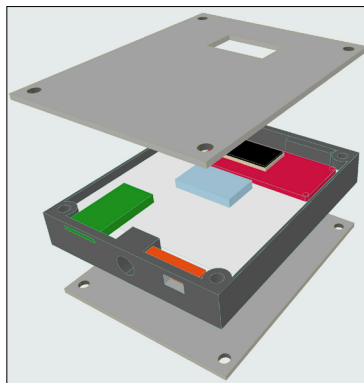
Ezek felül ugyanebben az időpontban a korábban már említett műszertől mért padló és mennyezet távolsága is rögzítésre kerül (3. ábra – m1, m2).

A mérési adatok a felmérő egységhez kapcsolt microSD-kártyára kerülnek rögzítésre, amely segítségével egyszerűen átvihetők bármelyik számítógépre. A rajta tárolt strukturált adat teszi lehetővé az utófeldolgozást végző algoritmus helyes működését és az információkból történő automatizált modellépítést (7. ábra).

A munkafolyamat végeredménye az építészeti tervezőszoftverekben megjeleníthető egyszerűsített épületmodell, amelyet fel lehet használni többek között a jövőbeli tervezési folyamatok támogatására.

Az algoritmus alapvető működési elve szerint az épületszerkezetekről rögzített felületi síkokat és azok kapcsolatait használja fel a térbeli modellek létrehozásához. Ebben további segítséget jelent mérésenként a mérőműszer horgonypontoktól és mennyezettől, padlótól való távolsága. Ezek az információk együttesen járulnak hozzá a síkok megfelelő térbeli pozíciókba történő rendezéséhez. Az így beigazított síkok között összemetaszódások keletkeznek. A létrejövő metszésvonalak pedig elkülönítik egymástól a felesleges és a felmérési teret alkotó síkidarabokat. Utóbbiakat használik fel az algoritmus programsorai a modellelemek (pl.: falak, födémek) generálásához.

Az ismertetett folyamatokhoz szükséges programok és algoritmusok részben már elkészültek, azonban még nem teljesek.



8. ábra. Mérőegység tervezett vázának 3D-modellje

4. Eszközváz

A projektben részt vevő horgonypontok és a felmérőegység esetén is biztosítani kell alapvető védelmet a hardverösszetevők számára. Ennek érdekében mind a horgonypontok, mind pedig a felmérőegység számára egyedi váz kerül megtervezésre.

A tesztverziók tervezése (8. ábra) és tesztjelleggel történő 3D-nyomatása folyamatban van. A végleges eszközváz még kialakítás alatt áll. Az esetleges leejtés, leesés elleni védelem miatt fekete színű, 1,75 mm átmérőjű Extrudr Green-TEC PRO Carbon-típusú, karbonszálas filament felhasználása valósult meg a projektben, amely sokkal ellenállóbb a különböző környezeti behatásokkal szemben, mint a hagyományos Polylactic Acid (PLA). Az általam alkalmazott típust a mechanikai hatásoknak való ellenálláson felül magas hőmérséklet-állóság és alacsony súly is jellemzi. Utóbbi kifejezetten fontos egy hosszú ideig kézben tartott eszköz esetén.

5. Következtetések

Annak ellenére, hogy a kutatásfejlesztési folyamat még kezdeti állapotban van, az eredmények bizakodásra adnak okot. Az UWB-technológia és a kifejlesztés alatt álló szoftveres környezet, valamint módszertan alkalmas a térben való mozgás során az épületszerkezetek pozíciójának és sajátosságaira vonatkozó adatainak rögzítésére, feldolgozására, valamint tervezőszoftverben való megjelenítésére. Az előállítandó 3D-, vagy BIM-álományok kiindulási információt biztosíthatnak a felmérésre épülő magasabb rendű projektfolyamatokhoz. A kutatásfejlesztési folyamatok során felmerülő észleletmérési pontatlanság (változó, de több kalibrációt követően átlagértékben 5–10 cm között) egyelőre még mindig jelentősnek

nevezhető, amely csökkentésére irányuló tevékenységek a jövőben prioritásként kezelendők. Ezenfelül szükséges pontosan megértenünk és tanulmányoznunk a térben található objektumok okozta interferenciát, amelyek szintén eltérítetik a mérést, valamint a horgonypontok egymáshoz viszonyított pozícióinak automatikus meghatározási lehetőségeit.

Összességében az elért eredmények az előírányzott elképzelések szerint alakulnak. Ennek megfelelően az eljárás továbbfejlesztése folytatódik a funkcionalitás bővítésével és a jelentkező problémák megoldására irányuló törekvésekkel.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alaphoz finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Máder P. M.: *Algoritmussal támogatott BIM-alapú tevékenységek az építőipar megvalósulási és megvalósítási folyamataiban*. Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar, Breuer Marcell Doktori Iskola, PhD-értékezés (2021). 26–27.
- [2] Fontaine J., Ridolfi M., Van Herbruggen B., Shahid A., De Poorter E.: *Edge Inference for UWB Ranging Error Correction Using Autoencoders*. IEEE Access, 8. (2020) 139143–139155.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012822>
- [3] Zhuang, W., Shen, X. and Bi, Q.: *Ultra-Wideband Wireless Communications*. Wireless Communica-
- tions and Mobile Computing, 3. (2003) 663–685.
<https://doi.org/10.1002/wcm.149>
- [4] ESP32 UWB Indoor Positioning Test. (letöltve: 2024. február 10.)
<https://www.makerfabs.cc/article/esp32-uw-b-indoor-positioning-test.html>
- [5] Tudnivalók az Ultra Wideband technológiáról (letöltve: 2024. február 10.)
<https://support.apple.com/hu-hu/guide/iphone/iph771fd0aad/ios>
- [6] Matteo R., Jaron F., Ben Van H., Wout J., Jeroen H., Eli De P.: *UWB Anchor Nodes Self-Calibration in NLOS Conditions: a Machine Learning and Adaptive PHY Error Correction Approach*. Wireless Networks, 2021/27:3007–3023.,
<https://doi.org/10.1007/s11276-021-02631-0>
- [7] Matteo R., Abdil K., Rafael B., Maarten W., Wout J., Eli De P.: *Self-Calibration and Collaborative Localization for UWB Positioning Systems: A Survey and Future Research Directions*. ACM Computing Surveys, 54/4. Article No. 88., 1–27.
<https://doi.org/10.1145/3448303>
- [8] Malajner M., Planinšić P., Gleich D.: *UWB Ranging Accuracy*. Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), London, UK, 10–12 September 2015. 61–64.
- [9] VL53L0X Time-of-Flight Ranging Sensor Datasheet - Production Data. (letöltve: 2024. február 14.)
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>
- [10] VL53L1X Time-of-Flight Ranging Sensor Datasheet - Production Data. (letöltve: 2024. február 14.)
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l1x.pdf>