



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

Beltéri helymeghatározó rendszerekkel támogatott intralogisztikai alkalmazási lehetőségek

TDK

Szerzők:

Hári Ágnes

Bajusz Olivér

Témavezetők:

Molnár-Major Petra

Dr. Bóna Krisztián

Budapest, 2024

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Köszönetnyilvánítás.....	3
1. Bevezetés.....	4
2. Helyzetfeltárás.....	5
2.1. Mérések tervezése	6
3. Mérési alakzatok kialakítása	9
4. A mérések értékelése.....	13
4.1. Az első pontmérések értékelése	13
4.1.1. Az 1. típusú elrendezés.....	13
4.1.2. A 2. típusú elrendezés	15
4.1.3. A 3. típusú elrendezés	17
4.1.4. A 4. típusú elrendezés	18
4.1.5. A 5. típusú elrendezés	20
4.1.6. Az 6. típusú elrendezés.....	22
4.2. Földtől megemelt pontmérések	23
4.3. Mérés akadállyal az útban	26
4.4. Laboratóriumi mérések összegzése	27
5. Mérések a MIMO és a Marvelmind felhasználásával	28
5.1. Mikro érzékelés és gépi Mozgáskövetés aréna	28
5.2. A két rendszer összehasonlítása	31
5.3. Pont mérések	31
5.4. 2D mérések.....	34
5.5. 3D mérések.....	37
6. Intralogisztikai alkalmazási lehetőségek	41
6.1. Irányításra vonatkozó következtetések.....	41
6.2. Nyomon követésre vonatkozó következtetések	42
7. Összefoglalás.....	43

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a SZTAKI intézetnek, hogy lehetőséget nyújtottak a MIMO aréna kutatásban történő felhasználására, amely egy fontos pontjává vált a méréseinknek. Külön köszönjük az intézet munkatársainak a segítségét és türelmét, amellyel megvalósulhattak a mérések.

Hálásak vagyunk továbbá témavezetőinknek, Molnár-Major Petrának, aki elkötelezett és figyelmes hozzáállása különösen sokat segített abban, hogy magabiztosan haladjunk előre. Dr. Bóna Krisztiánnak, aki szakértelme és precíz meglátásaival pedig biztosította, hogy minden részletre odafigyeljünk, és a lehető legjobb eredményeket érjük el. Köszönjük, hogy szakmai tudásukkal és útmutatásaikkal végig támogattak minket a dolgozatunk megírásában.

1. Bevezetés

Az intralogisztika a vállalatok belső logisztikai folyamataira összpontosít, amelyek a gyártási és raktározási tevékenységeken belül zajlanak. Ide tartozik az anyagok, alkatrészek és késztermékek mozgatása, tárolása és kezelése, valamint ezek optimalizálása egy vállalaton belül. Az intralogisztika célja a hatékonyság növelése és a költségek csökkentése, amelyhez elengedhetetlen az emberek és az anyagmozgató gépek működésének és együttműködésének vizsgálata is. Ezzel a megközelítéssel javíthatók a gyártási folyamatok, a raktározási rendszerek és az anyagáramlás, gyakran automatizált rendszerek és digitális technológiák alkalmazásával.

Ahhoz, hogy egy vállalat az ipar 4.0-ba vagy specifikusabban a logisztika 4.0-ba léphessen fontos, hogy a járműveiket és operátoraikat valós időben nyomon tudják követni. Ezáltal automatizálni lehet az adatgyűjtést, ezzel minimalizálva az emberi erőforrások és beavatkozások szükségességét. Ezzel az automatikus adatgyűjtéssel jelentősen több és jobb minőségű adatra tehetünk szert.

A TDK dolgozatunk során megismerkedünk a beltéri helymeghatározó rendszerekkel. Ezen rendszerek használatával megvalósulhat az automatikus nyomonkövetés. Intralogisztikai vonatkozásban a digitális iker témakörében nyilvánul meg a leginkább a beltéri helymeghatározó rendszerek alkalmazásának a fontossága. Maga a digitális iker előnye a folyamatok valós idejű optimalizálása és monitorozás, előrejelzés és kockázatelemzések, valamint autonóm eszközök navigálásának lehetősége. A vállalatok nagyrészt azonban ezek az anyagmozgatási és mozgási folyamatok „black box” -ként léteznek. Mindenki tudja, hogy ott vannak a rendszerben, de arról, hogy milyen útvonalakat járnak be és mit csinálnak az objektumok, arról nincs pontos adatuk.

Jelenleg számos technológia adott a beltéri helymeghatározás témakörén belül, azonban ezek a rendszerek merőben eltérő tulajdonságokkal rendelkezhetnek. Emiatt a kutatásunk célja a tanszéki beltéri helymeghatározó rendszer laboratóriumi használatakor érvényes jellemzők definiálása 2D és 3D mérések elvégzésével. Úgy gondoljuk ez a szükséges első lépés a rendszerek integrálását megelőzően.

2. Helyzetfeltárás

A beltéri helymeghatározáshoz különböző jeleket alkalmazó technológiák állnak a rendelkezésünkre attól függően, hogy milyen főbb szempontokat szeretnénk szem előtt tartani.

A következőkben bemutatjuk, hogy milyen ismertebb technológiák léteznek a beltéri helymeghatározó rendszereken belül.

Infravörös: Ez az egyik leggyakrabban használt vezeték nélküli technológia; azonban vannak kritikus korlátai. A legfontosabb korlát az alkalmazási környezettel kapcsolatos, mivel a rendszer zavartalan és akadálymentes környezetet igényel. Ezenkívül a készülékek közötti rövid hatótávolságú jelátvitel is korlátot jelent. Másrészt az IR több előnyt is kínálhat, például azt a lehetőséget, hogy a jeleket egy adott helyiségre korlátozzuk, mivel az IR-sugár nem képes áthatolni a falakon.

Wifi: Ez az említettek közül a legrosszabb minőséget biztosító rendszer. Előnye, hogy minden wifi-re csatlakozni képes eszközzel kompatibilis és tudja őket követni. Emellett különösebb beruházások nélkül is használható technológiáról van szó. Hátránya, hogy a pontossága a rendszernek 20 és 40 méter közé esik.

RFID: Rádió frekvenciás identifikáció. A rendszer előnye, hogy nagy távolságokat képes lefedni, illetve könnyen áthatol a falakon, emberi testeken. Az RFID technológia széleskörben elterjedt, mivel olcsó és rugalmas azonosítási rendszer. Létezik belőle aktív és passzív megoldás is. A különbség a kettő között, hogy míg a passzív esetben a követni kívánt objektumnak nincs saját energia forrása, addig az aktív rendelkezik vele, ezzel nagyobb hatótávolságot és memóriakapacitást biztosítva a passzív társával szemben.

Ultrahang: A név az ultrahanghullámok használatából ered, amelyeket egy mozgó célpont helyzetének mérésére alkalmaznak egy rögzített vevőpontból. Mivel ez a rendszer 2-től 10 méterig terjedő távolságot képes lefedni, rövid hatótávolságú technológiának tekinthető.

UWB: Az ultra-wideband vagyis ultra szélessávú technológia az elmúlt években népszerűvé vált technológia, mely magas pontosságú becslést ad beltéri helyzetekben, azonban az ipari környezet által generált különböző zajok, illetve a dolgozók és gépek által okozott interferenciákra érzékenyek ezek a típusú rendszerek. [1]

Képfeldolgozás: Ez a megközelítés két különböző kamerarendszert használhat: rögzített vagy mozgatható rendszert. Az első esetben a mobil eszközök helyzetét a kamera rögzített pozíciója alapján becsülik meg a rögzített képen belül. A második esetben a kamera a célhoz van rögzítve, így együtt mozog vele. Ebben az esetben a mozgások a mobil kamera helyzetének és orientációjának követésével becsülhetők meg.

A legelső feladatunk a jelenlegi helyzet feltárása. Ezt a szakirodalmak kutatásával és elemzésével tehetjük meg. Célunk olyan tudás felhalmozása, amivel felvértezve el tudjuk indítani a saját kutatásunkat. [2] [3] [4] [5]

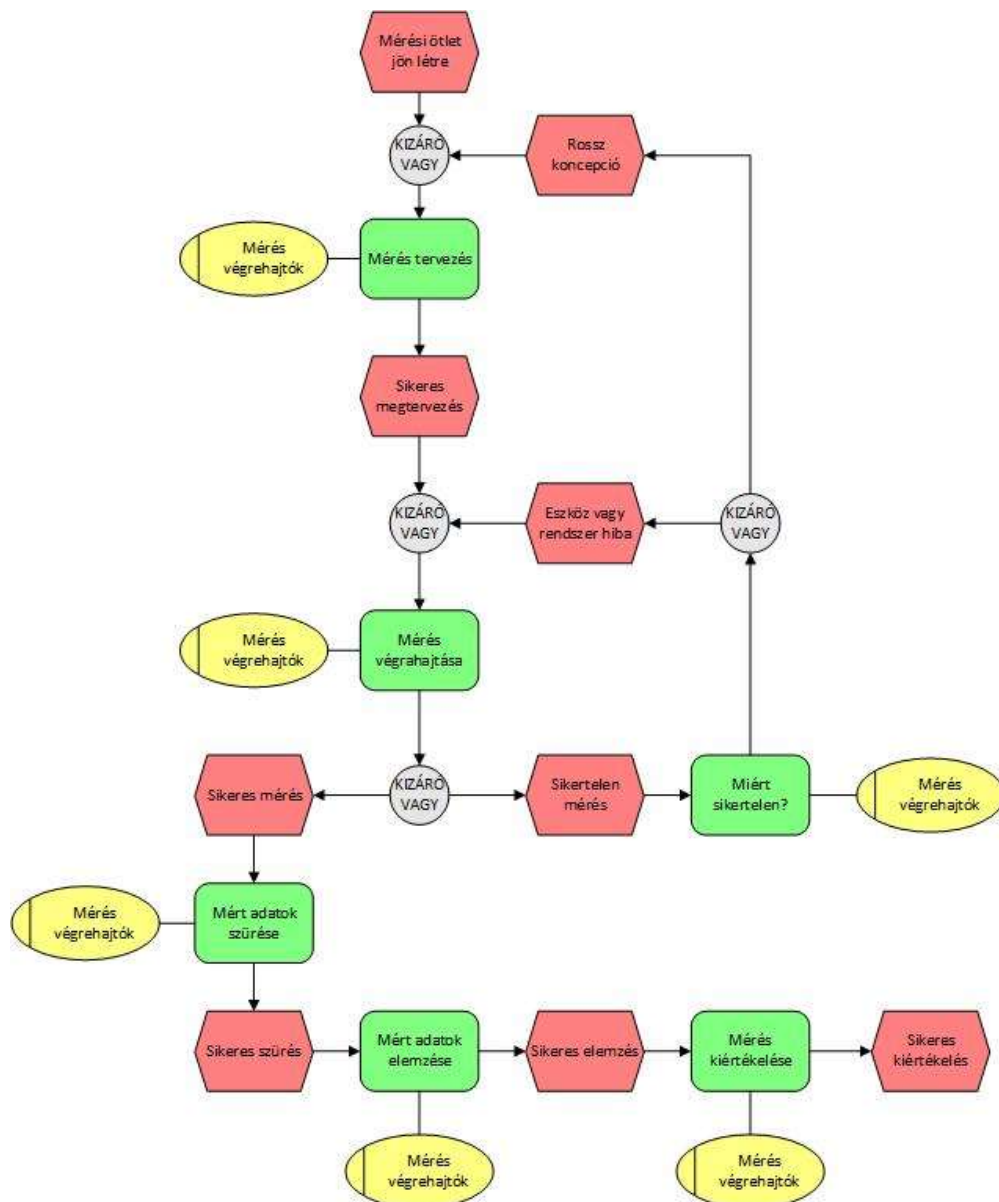
Ezt követően szükséges megismerkednünk a tanszéken használt beltéri helymeghatározó rendszerrel, amely a Marvelmind Indoor GPS névre hallgat. Érdekes lehet még megemlíteni, hogy az eszközök ultrahangos technológiával működnek, így ilyen jelekkel mérik az egymástól vett távolságot és rádiófrekvenciás jel segítségével továbbítják a modem számára az adatokat. Itt először megvizsgáljuk az eszközöket majd az irányításhoz és információ gyűjtéshez szükséges programmal is megismerkedünk. A helymeghatározó eszközt az 1. prezentál számunkra.



1. ábra: Marvelmind jeladó[6]

2.1. Mérések tervezése

Az első méréseink között a pont, más néven az 1D mérés fog szerepelni. Itt elsődlegesen a mérő műszerek megbízhatósága, mért adatok pontossága lesz a hangsúlyban. Azonban ezt a folyamatot a mérések tervezése előzi meg. Fontos kitérnünk a mérési terület definiálására, a jeladók mennyiségének, elhelyezési magasságának meghatározására, illetve a kívánt időtartamokat is megállapítjuk. A 2. ábra mérés folyamatát mutatja be, mely alapján egyértelműbbé válik, hogyan építettük fel folyamatainkat. [7]



2. ábra: EPC folyamat ábra a mérések végrehajtásáról

A mérések során a kezelőfelület folyamatosan menti a jeladók adatait, melyeket a mérés után rendezünk, és a lehető legnagyobb mértékben szűrjük a zajt. Ezt követően meg tudjuk határozni, hogy egy adott jeladó által küldött adatok közül, milyen arányban érkezett hasznos adat, majd az összes mért értékkel hányadolvá megkapjuk, hogy milyen megbízhatósággal dolgozik egy jeladó. Az 1D mérések során megállapítjuk az adott elrendezés megbízhatósági szintjét is. Ezentúl olyan mutatókat fogunk definiálni, amikkel az összes mérésünk könnyen összehasonlíthatóvá és rendszerezhetővé válik. [8]

Az alapvető mutatók meghatározása után megvizsgáljuk a rendszert plusz egy dimenzióval (2D), így már a mozgatott jeladó helyzetét is vizsgálhatjuk. Itt újra előtérbe kerülnek a méréstervezések. Új elrendezésekkel is dolgozhatunk vagy akár előzőleg definiált mutatók alapján pontosnak bizonyult elrendezéseket is újra felhasználhatunk.

A méréseink következő mérföldköve a MIMO elnevezésű rendszerrel való közös 1D, majd 2D mérések végzése, melyet a SZTAKI kutatólaboratóriumában végzünk. Ezen mérések során az előzőekben mért és kiértékelt elrendezéseket, megfigyeléseket vesszük alapul.

Végül 3D mérések végzését is megkíséreljük szintén a SZTAKI kutatólaboratóriumi környezetben, ahol igyekszünk vizsgálni a Marvelmind 3D követésre való alkalmasságát.

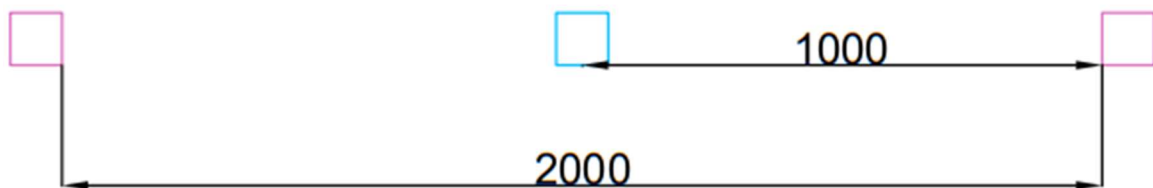
A mérések végeztével megvizsgáljuk milyen további irányokba tudjuk a kutatásunkat folytatni. Többek között a mért adatok automatikus szűrésével is foglalkozhatunk. De megvizsgáljuk majd a rendszer más ágazatokban vett használhatóságát is. A tanulmány végén különböző ajánlásokat fogunk tenni arra vonatkozóan, hogy milyen lehetőségeink vannak a Marvelmind Indoor GPS digitális ikerben történő felhasználására, valamint az autonóm objektumok irányításában betöltött szerepét is vizsgálni fogjuk.

3. Mérési alakzatok kialakítása

Fontos szempont az, hogy a fix jeladók egymástól milyen távolságban, illetve elhelyezésben találhatók. A megfelelő elhelyezés biztosítja a vizsgálandó terület megfelelő lefedettségét, ezzel a lehető legpontosabb mérési eredményeket produkálva a későbbi vizsgálatok során.

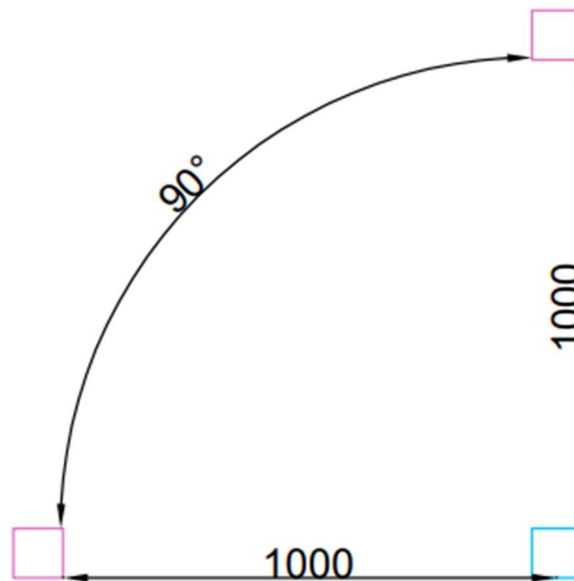
Elsőként pontmérést végeztünk, ez részletesebben a 4.1 bekezdésben olvasható. A fix jeladókat ezen, kezdetben egy ponthoz viszonyítva helyeztük el. Méréseink során először két fix jeladóval vizsgáltuk a lefedettség minőségét. Két stacionárius jeladóval összesen 3 típusú elrendezést alakítottunk ki, úgy, hogy egyes formációk esetén új méréseket hajtottunk végre a fix jeladók között lévő távolság növelése után. Ezzel is az optimális távolságot keresve. (Az optimális távolság két fix jeladó között az, ahol a mérés során a mozgó jeladó helyzetét a legnagyobb megbízhatósággal mérjük.)

Elsőként a két fix jeladót 180° -os egymással bezárt szögben elhelyezve vizsgáltuk, és a köztük lévő távolság felénél helyeztük el a mozgó jeladót. Erre az elrendezésre a dokumentum során 1. típusú elrendezésként hivatkozunk majd. A 3. ábra ennek vizualizálását mutatja, ahol a lila szín a fix, a kék pedig a mozgó jeladókat jelölik.



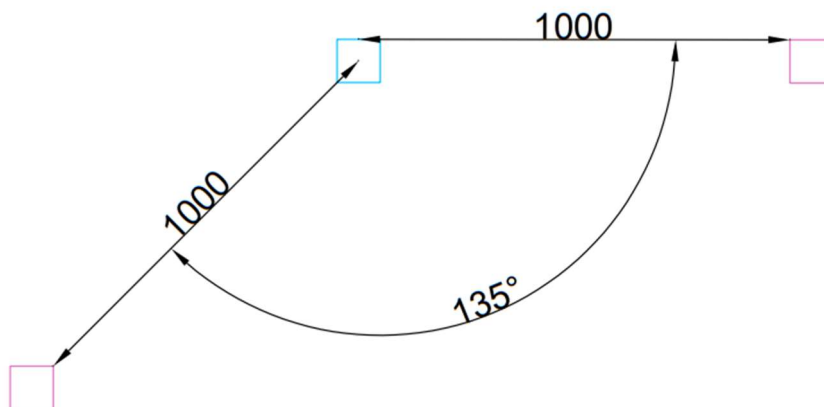
3. ábra: 1. típusú elrendezés felülnézete

A második vizsgált elrendezés, azaz a 2. típusú elrendezés esetén a mozgó jeladóhoz mérve 90° -os elrendezésben vizsgáltuk a jeladók megbízhatóságát. A 4. ábra ezt az elrendezést mutatja.



4. ábra: 2. típusú elrendezés felülnézete

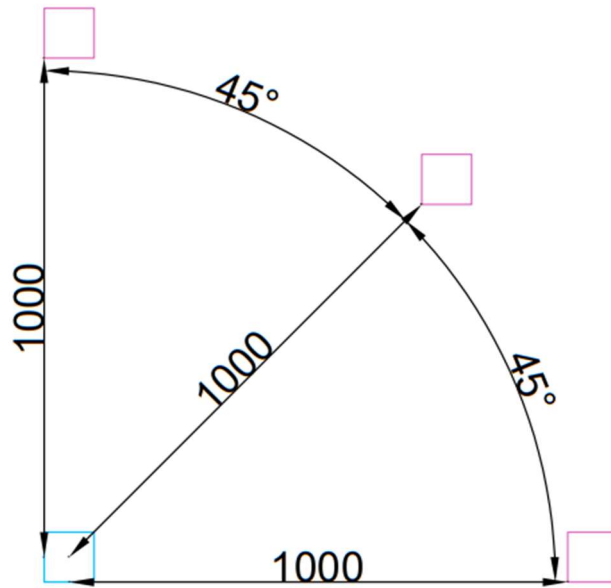
A 3.típus során pedig a mozgó jeladóhoz viszonyítva 135° -al helyeztük el a fix jeladókat. Ezt az elrendezést az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: 3. típusú elrendezés felülnézete

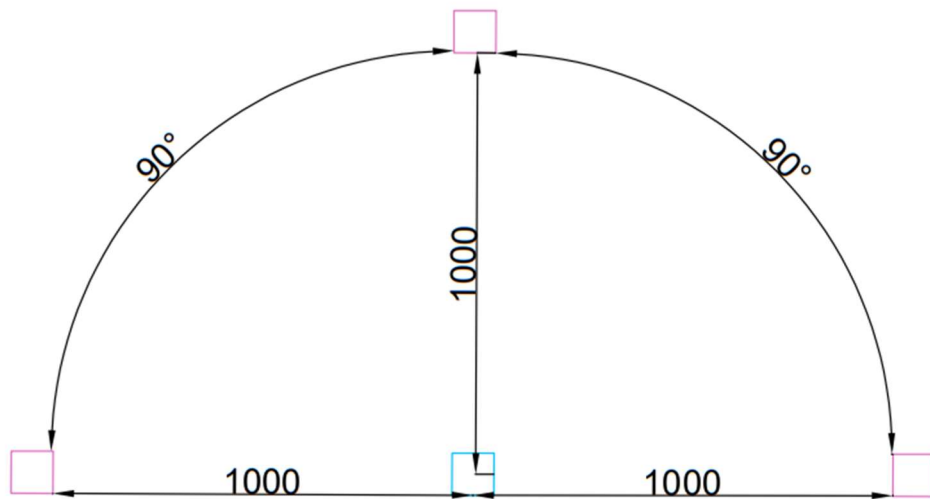
A továbbiakban újabb fix jeladót helyeztünk el a mérési térben, melyekkel az alábbi formációkban végeztünk méréseket:

A továbbiakban 4.típusként az egymástól 45° -ra elhelyezett fix jeladókkal kialakított elrendezést említjük majd, melyet a 6. ábra is szemléltet.



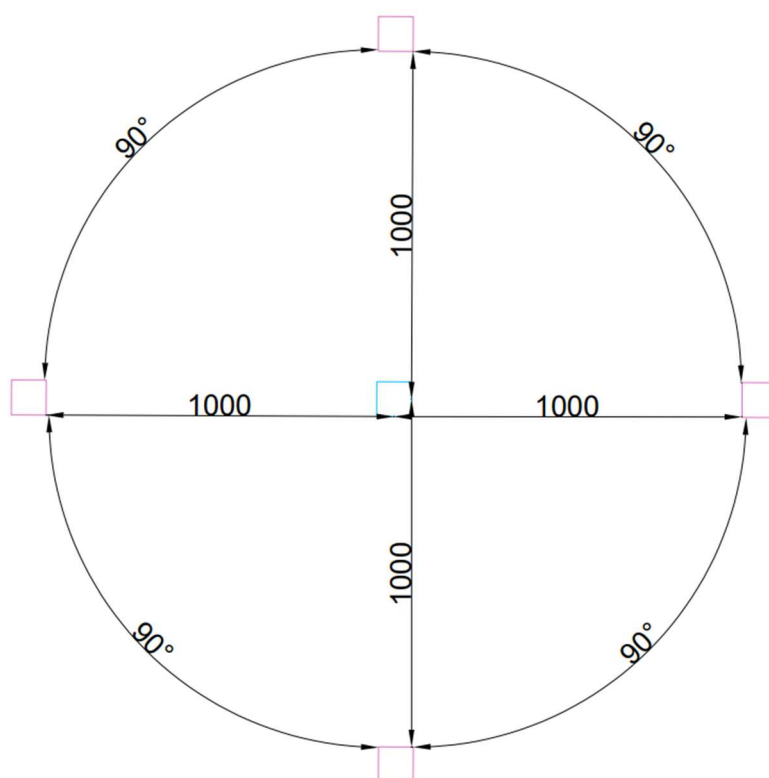
6. ábra: 4. típusú elrendezés felülnézete

Az 5. típusú elrendezés az egymással 90° -ot bezáró jeladókkal kialakított terület. Ennek vizualizálása a 7. ábra fölött tekinthető meg.



7. ábra: 5. típusú elrendezés felülnézete

A 6. típust az egymástól 90° -al eltolt 4 stacionárius jeladóval kialakított terület és az ezen mért adatok alkotják, melynek szemléltetéséért a 8. ábra felel.



8. ábra: 6. típusú elrendezés felülnézete

4. A mérések értékelése

A mérések értékelése során az első dolgunk az előző pontban bemutatott elrendezések megbízhatóságának és pontosságának vizsgálata, illetve bemutatása, majd a kapott eredmények alapján további mérések tervezése, végrehajtása és kiértékelése.

Fontos megemlíteni, hogy a BME L épületének nagylaborja rendelkezik egy pinchelyiséggel, ahol a tartó gerendák vagy a mellettük futó vezetékek zavarják a mérőeszközöket. Emiatt a méréseket kis távolságok esetén még úgy készítettük, hogy ne essenek egy helyre az eszközök a feltételezett zavart okozó objektumokkal.

4.1. Az első pontmérések értékelése

Az előző fejezetben ismertetett elrendezésekkel való mérések kiértékelés során az első feladatunk a hasznos adatok kiszűrése volt. Hasznos alatt azokat az adatokat értjük, amikor ténylegesen érkezett be koordináta információ a mozgó jeladó helyzetére vonatkozólag. Erre azért van szükség mivel a program, amivel az eszközöket kezeljük, “.csv” formátumban készíti el a naplózását a mérésről, így ezt még át kell alakítani számunkra értelmezhetővé, egyszerűen kezelhetővé. Ezután az adatainkat tengelyenként megvizsgáltuk az alábbi szempontok szerint:

- Átlag
- Szórás
- Medián
- Maximum
- Minimum
- Variancia

A méréseket több különböző távolságra is elvégeztük. A következőkben azokat a méréseket ismertetjük, ahol a fix jeladók és a mozgó jeladó között a távolság egy méter. Minden mérésnél különböző a várt X és Y tengely értéke, így ezeket minden mérésnél külön részletezzük.

4.1.1. Az 1. típusú elrendezés

Az első mérésünk alkalmával lettünk figyelmesek a fent említett interferencia fennállására, ezért ezt megismételtük úgy, hogy igyekeztünk ezen zavaró területeket a mérési területen kívülre pozicionálni. Ahogy azt az 1. táblázat is mutatja az első mérés alkalmával nagyobb arányban kaptunk hasznos adatot, de az interferencia nélküli mérés során nagyobb arányban kaptunk pontos adatokat.

Pontos adatnak azt definiáljuk, amikor a mért eredmények a legkisebb mértékben térnek el a várt eredménytől. A valós érték X tengelyen 1 méter, Y tengelyen 0, így a mérés során ezeket az értékeket vártuk vissza. A mutatószámokat a 2. táblázat vizualizálja.

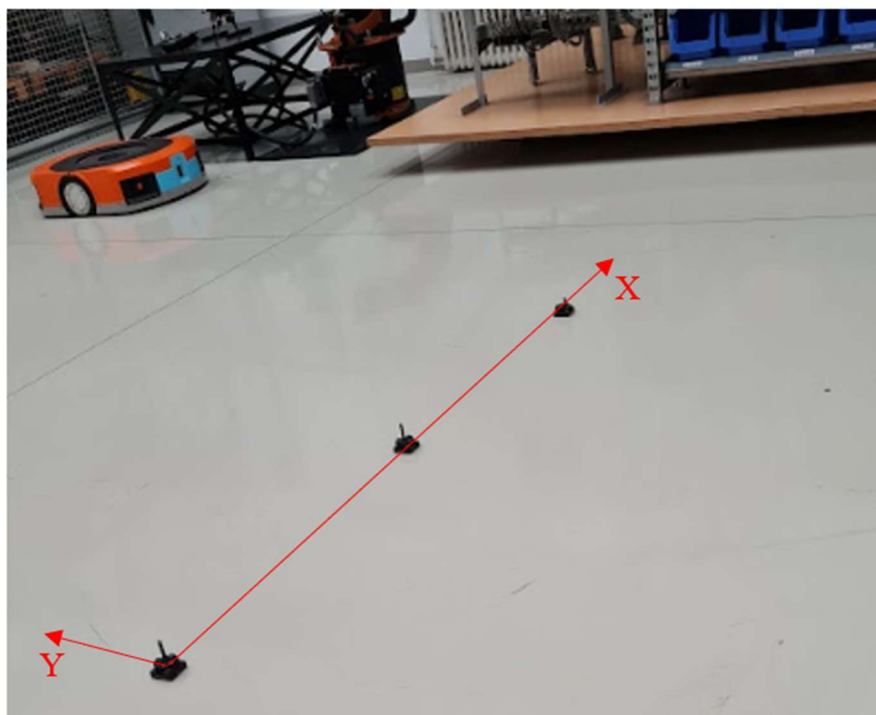
1. táblázat: 1.típusú elrendezés hasznos adat aránya

	Interferenciával	Nélkül
Hasznos adat	1767	992
Összes adat	4749	4724
Arány [%]	37,21	21

2. táblázat: 1.típusú elrendezés mutatószámai

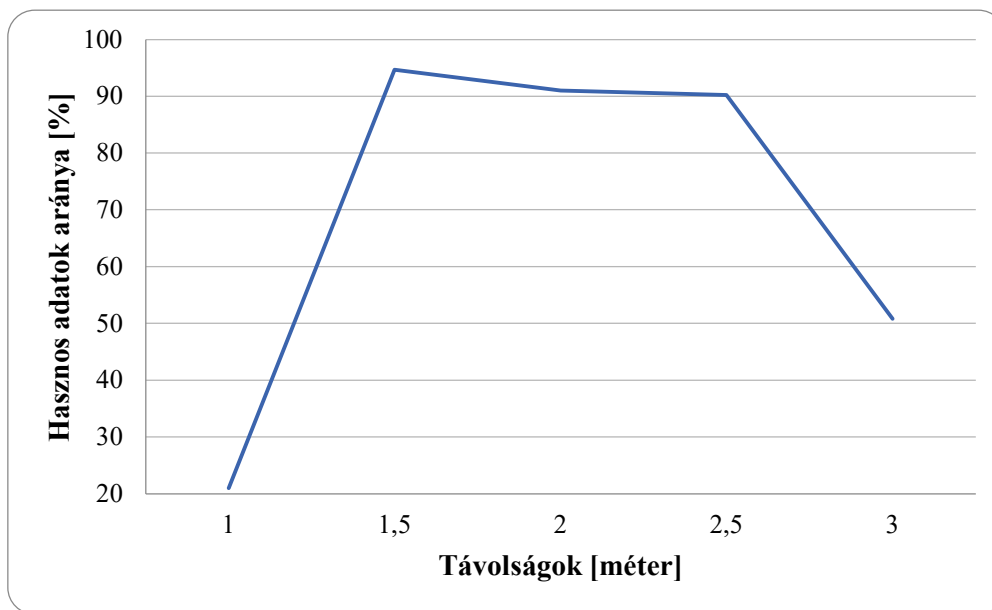
	Interferenciával		Nélkül	
Tengely	X	Y	X	Y
Átlag	1,014	0,421	1,005	-0,443
Szórás	0,351	0,499	0,049	0,268
Medián	1,029	0,355	0,998	-0,347
Maximum	6,535	11,153	1,317	-0,213
Minimum	-5,251	0,045	0,8	-1,532
Variancia	0,123	0,249	0,002	0,072

A megvalósított elrendezés a 9. ábra formájában tekinthető meg. Megfigyelhető, hogy a hasznos adatok aránya mind a két esetben elég kevés volt. A későbbi méréseink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy a fix jeladók túlzott közelsége lefedettségi problémákat okozott, ezzel a mérési eredmények minőségén rontva.



9. ábra: 1.típusú elrendezés fizikai megvalósulása

A mérések pontosságának változását a távolság növelésével az 10. ábra vizualizálja. Ebből látszik, hogy a legjobb adatokat az 1,5 méteres távolság biztosította. Megállapítható az is, hogy ebben az elrendezésben 3 méteres távolság esetén nagyban romlik a hasznos adatok aránya.



10. ábra: 1. típusú elrendezés hasznos adatai

Mivel egymással párhuzamosan voltak elrendezve a mérőeszközök így az Y tengelyre nullás értéket kellett volna kapnunk, azonban ez nem így történt. Ez feltételezhetőleg azért lehet így, mivel a fix jeladók nem látnak egymásra, ezért nem tudnak pontosan kommunikálni. Illetve nem helyezkedik el jeladó Y irányba, ezért ennek a tengelynek a meghatározására nem képesek.

4.1.2. A 2. típusú elrendezés

Az elrendezés vizsgálatokor nem csupán egy újabb elrendezést vizsgáltunk, hanem újból próbáltuk az interferencia fennállását megfigyelni. Így a méréseket végrehajtottuk a vélt interferencia fennállásával, illetve nélküle is. A mérésekből származó adatok mennyisége és arányai a 3. táblázat tekinthetők meg.

3. táblázat: 2.típusú elrendezés hasznos adat aránya

	Interferenciával	Nélkül
Hasznos adat	1212	3207
Összes adat	3083	3549
Arány [%]	39,31	90,36

Megfigyelhető, hogy a vélt interferencia nélkül az összes mért és a hasznos adat aránya 90% feletti, míg az interferencia fellépésével mért értékek aránya a 40%-ot sem éri el. Ebből megállapítható, hogy a jelenlévő zavaró tényező valódi, és jelentős negatív hatással van a mérési eredményekre.

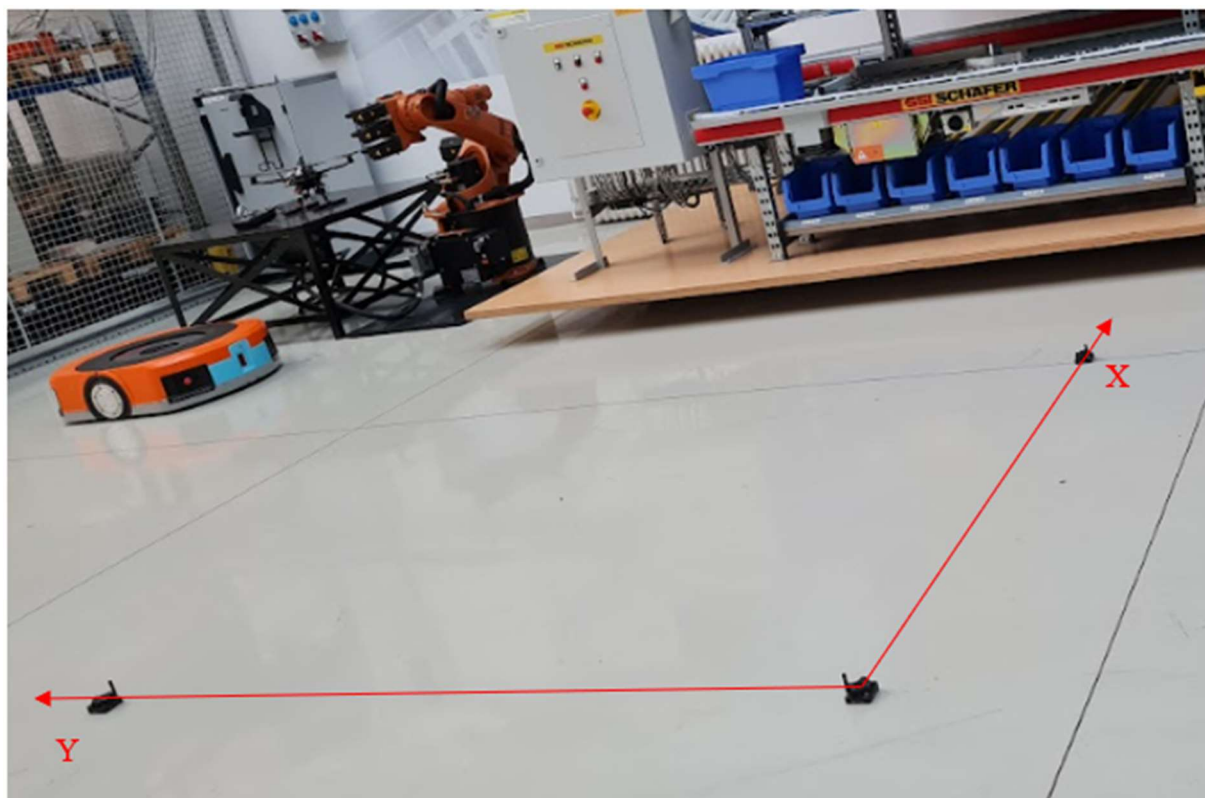
A tengelyek különböző szempontok szerinti vizsgálata, ami a 4. táblázat látható, még jobban szemlélteti a problémát. Míg az interferencia nélküli mérési eredmények nagyjából -1 és 1 közé esnek, megfigyelhetjük, hogy az interferencia jelenlétével végzett mérések között -13 és 5-ös

értékek is előfordulnak, a mérési intervallumban egy jóval nagyobb mértékű szórást eredményezve.

4. táblázat: 2.típusú elrendezés mutatószámai

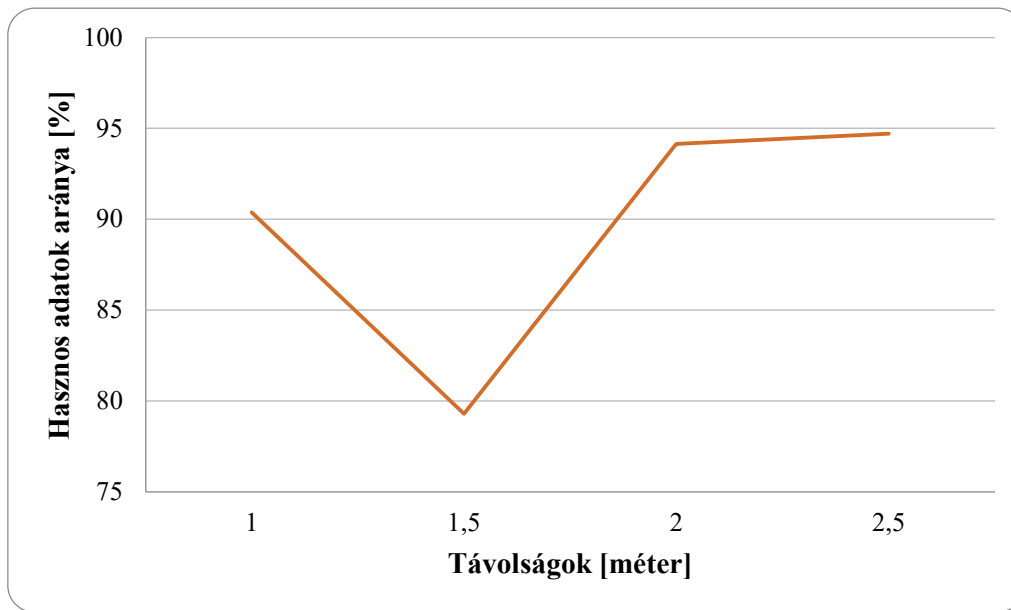
Tengely	Interferenciával		Nélkül	
	X	Y	X	Y
Átlag	0,858	-0,348	0,692	-0,868
Szórás	0,467	1,294	0,024	0,047
Medián	0,693	-0,777	0,687	-0,87
Maximum	5,344	5,494	1,123	0
Minimum	-4,086	-13,32	0,676	-0,902
Variancia	0,218	1,675	0,001	0,002

Az elrendezés megvalósítását és a tengelyek elhelyezkedését a 11. ábra megfigyelésével értelmezhetjük.



11. ábra: 2. típusú elrendezés fizikai megvalósulása

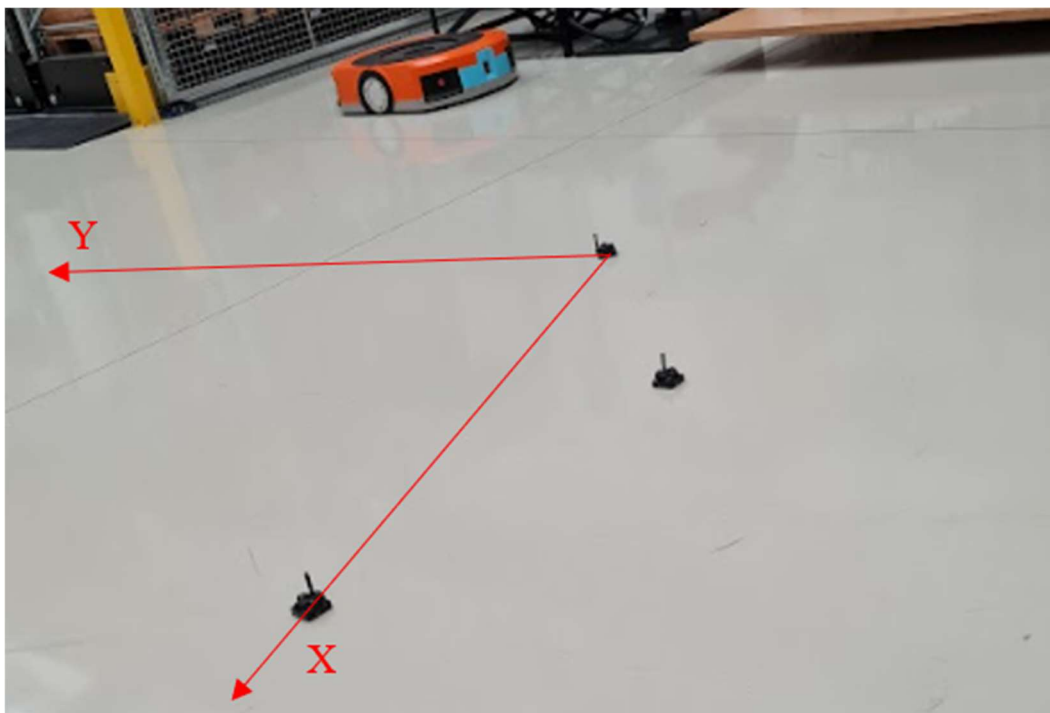
A távolságok növelésének függvényében változó pontosságot a 12. ábra vizualizálja. Ez alapján az látható, hogy 1,5 méternél a hasznos adatok aránya jelentősen csökken az előtte, illetve utána mért szinthez képest. Ezt az előzőekben is megfigyelt túlzott lefedettség okozhatta.



12. ábra: 2. típusú elrendezés hasznos adatai

4.1.3. A 3. típusú elrendezés

Mivel az előző méréseink alapján valósnak vettük az interferencia jelenlétét, ezért a továbbiakban ezt nem vizsgáltuk, és igyekeztünk csak a „biztonságos”, tehát nem interferáló zónákban méréseket végezni. A mérés során a 13. ábra alapján helyeztük el a jeladóinkat, és az itt megfigyelhető módon pozícionáltuk a tengelyeket.



13. ábra: 3.típusú elrendezés fizikai megvalósulása

A rögzített adatok és a közülük hasznosnak bizonyultak arányát a 5. táblázat tartalmazza. A különböző mutatószámokat pedig a 6. táblázat mutatja be.

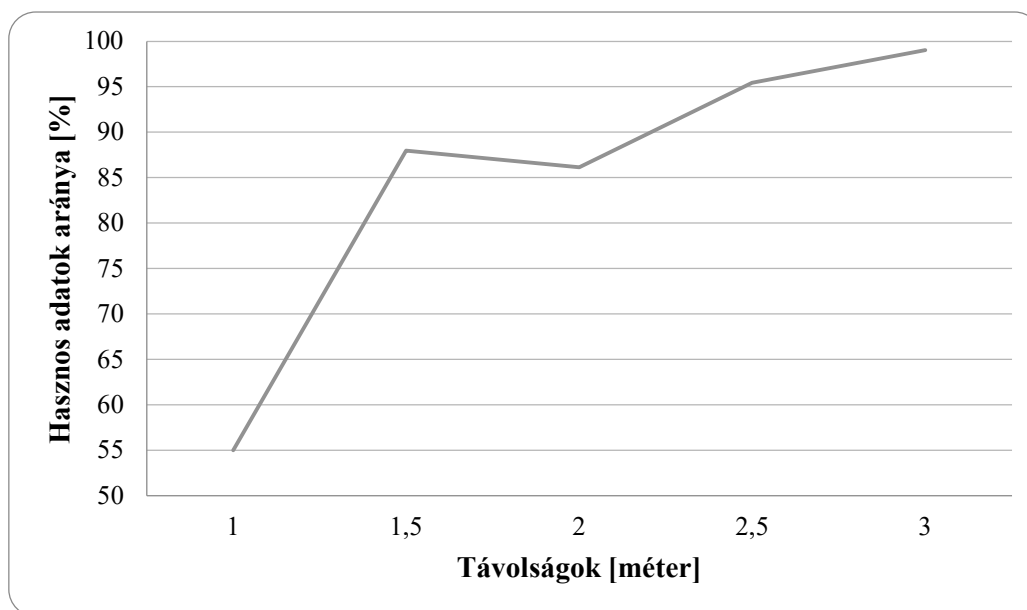
5. táblázat: 3.típusú elrendezés hasznos adat aránya

Hasznos adat	1228
Összes adat	2232
Arány [%]	55,02

6. táblázat: 3.típusú elrendezés mutatószámai

	X	Y
Átlag	0,894	-0,611
Szórás	0,184	0,335
Medián	0,958	-0,501
Maximum	1,009	-0,471
Minimum	-1,475	-4,904
Variancia	0,034	0,112

A pontosság változását a távolság függvényében a 14. ábra mutatja meg.

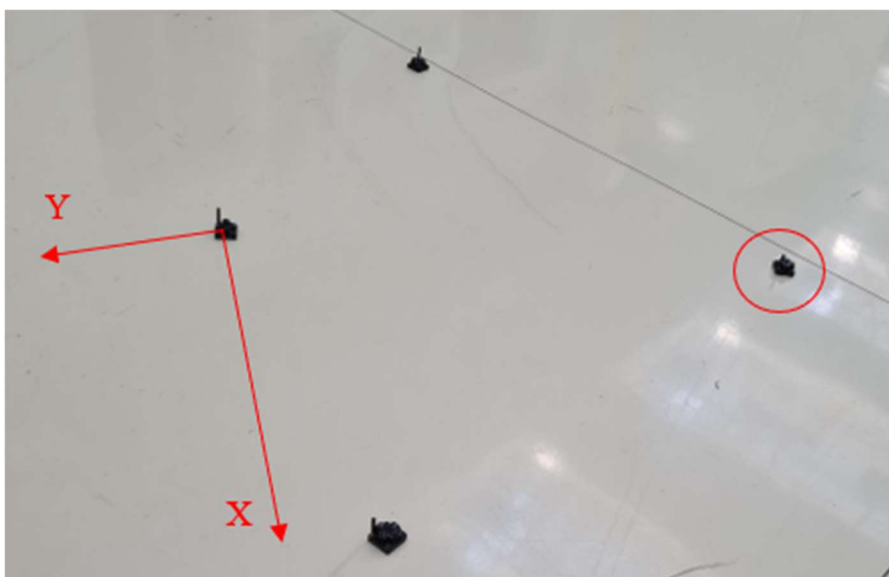


14. ábra: 3. típusú elrendezés hasznos adatai

Ezen elrendezéssel végzett mérések közül az egy méteres távolság kivételével 85% feletti volt a hasznos adatok aránya.

4.1.4. A 4. típusú elrendezés

A mérés során a 15. ábra által bemutatott elrendezést alkalmaztuk, ahol a bekarikázott jeladó funkcionált „mozgó” jeladóként.



15. ábra: 4.típusú elrendezés fizikai megvalósulása

A kiértékelés után kapott mutatószámokat a 7. táblázat mutatja be. Megfigyelhetjük, hogy a szórás értékei óriásiak a többi elrendezéshez képest, illetve a többi érték is jelentős kiugrásokat mutat a többi pontmérés adataihoz képest. Szintén megfigyelhető, hogy az összes mérés közül itt a legkisebb a felhasználható adatok aránya. A kiszámított mutatószámokat a 8. táblázat mutatja be.

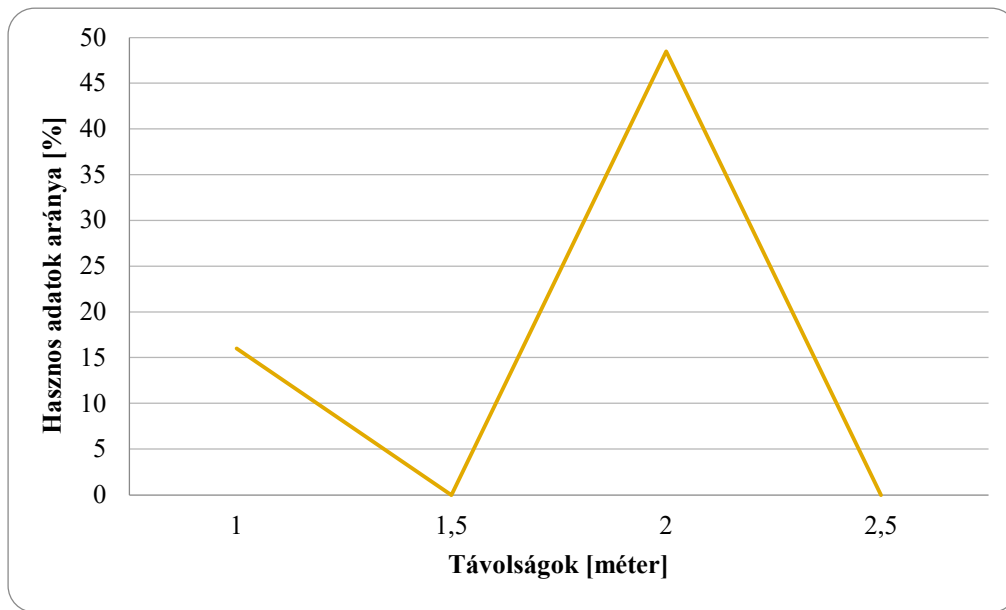
7. táblázat: 4.típusú elrendezés hasznos adat aránya

Hasznos adat	646
Összes adat	4034
Arány [%]	16,01

8. táblázat: 4.típusú elrendezés mutatószámai

	X	Y
Átlag	63,478	-151,528
Szórás	430,875	1143,901
Medián	0	0
Maximum	3613,179	161,674
Minimum	-50,481	-9571,71
Variancia	185653,6	1308509

A távolság növelésével változó pontosságot a 16. ábra szemlélteti. Itt is látszik, hogy a maximális hasznos kinyert adat az 50%-ot sem éri el.

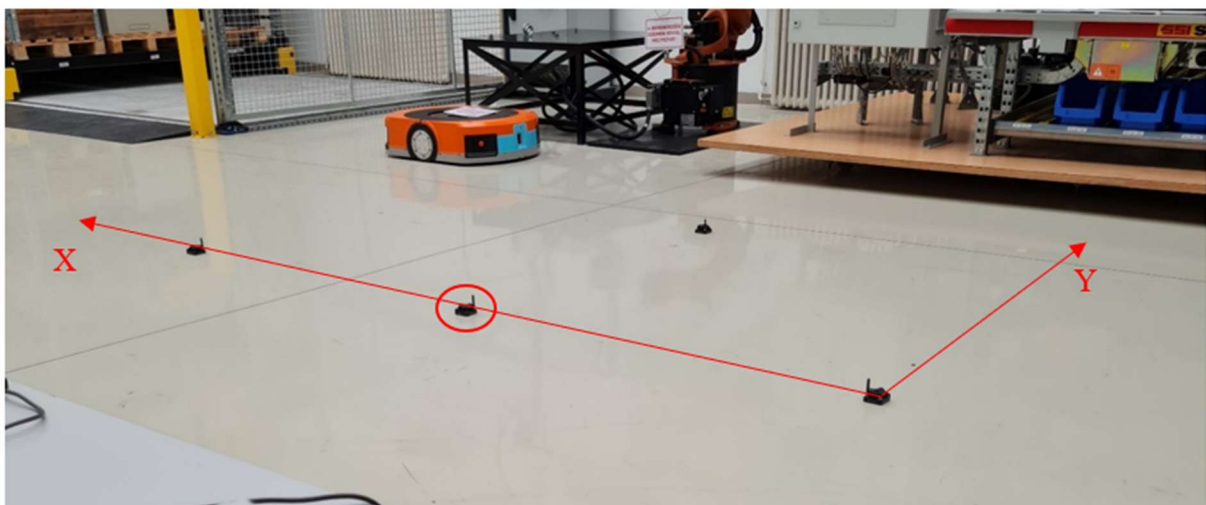


16. ábra: 4. típusú elrendezés hasznos adatai

A mérés közben arra lettünk figyelmesek, hogy a stacionárius jeladók nem tudnak egymással kommunikálni sem kis, sem nagy távolság esetén sem, amivel igazolható, hogy a Line-of-Sight rálátási követelmény nemcsak a stacionárius és mozgó jeladók között szükséges biztosítani, hanem a stacionárius jeladókra vonatkozóan is. A kapott eredmények alapján ezt az elrendezést teljes mértékben használhatatlannak találtuk.

4.1.5. A 5. típusú elrendezés

Az elrendezés során 3 stacionárius jeladó került elhelyezésre egy félkör alakjában, aminek a középpontjába a mozgó jeladó lett elhelyezve, így igyekeztünk kiküszöbölni az 1. elrendezésben felmerülő Y tengelybeli elcsúszást. Az elrendezés fizikai megvalósulását a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra: 5. típusú elrendezés fizikai megvalósulása

A mérési pontosságot a 9. táblázatban tekinthetjük meg míg a különböző mutatószámokat a 10. táblázat szemlélteti.

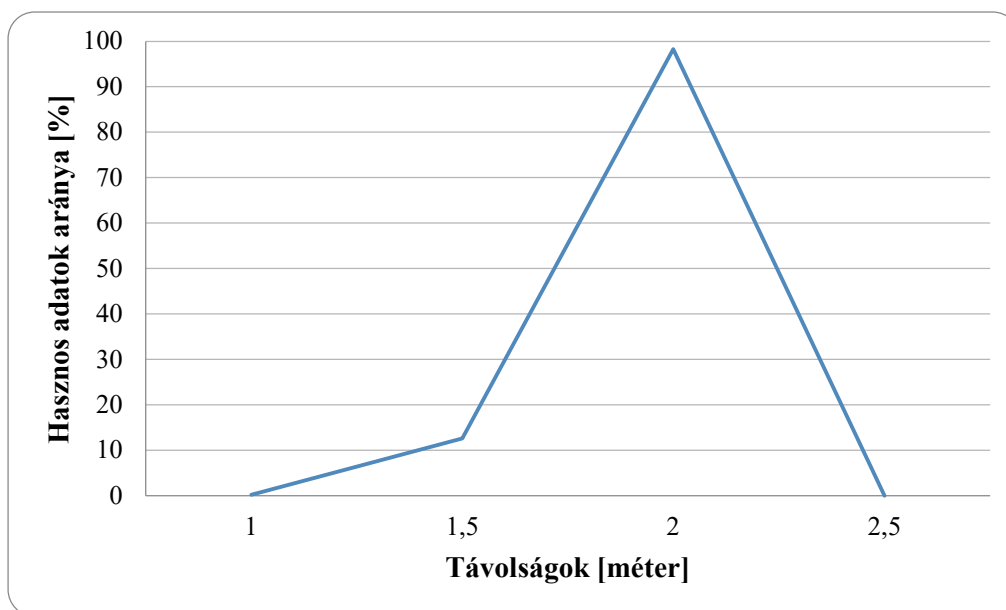
9. táblázat: 5.típusú elrendezés hasznos adat aránya

Hasznos adat	2147
Összes adat	2596
Arány [%]	82,7

10. táblázat: 5.típusú elrendezés mutatószámai

	X	Y
Átlag	1,042	0,093
Szórás	0,398	0,357
Medián	0,97	-0,002
Maximum	6,065	2,689
Minimum	-2,7	-3,111
Variancia	0,158	0,128

A mérési pontosság változását a távolság függvényében a 18. ábra mutatja be.



18. ábra: 5. típusú elrendezés hasznos adatai

Az elrendezés nagymértékben hasonlít a második elrendezéshez azonban a legnagyobb hibáját áthidalja. Ami az, hogy nem rendelkezik Y irányból jeladóval ezért minden esetben állandó hibát tartalmaznak a mért eredmények. Ezt a koncepciót csak a 2 méteres távolságnál volt képes ténylegesen megvalósítani, a többi esetben nagyon alacsony eredményeket hozott.

4.1.6. Az 6. típusú elrendezés

Az elrendezésben 4 stacionárius jeladó egy köríven helyezkedik el, aminek középpontja a mozgó jeladó. Az elrendezéssel végzett mérés eredményeit a 11. táblázat, illetve a 12. táblázat mutatják be.

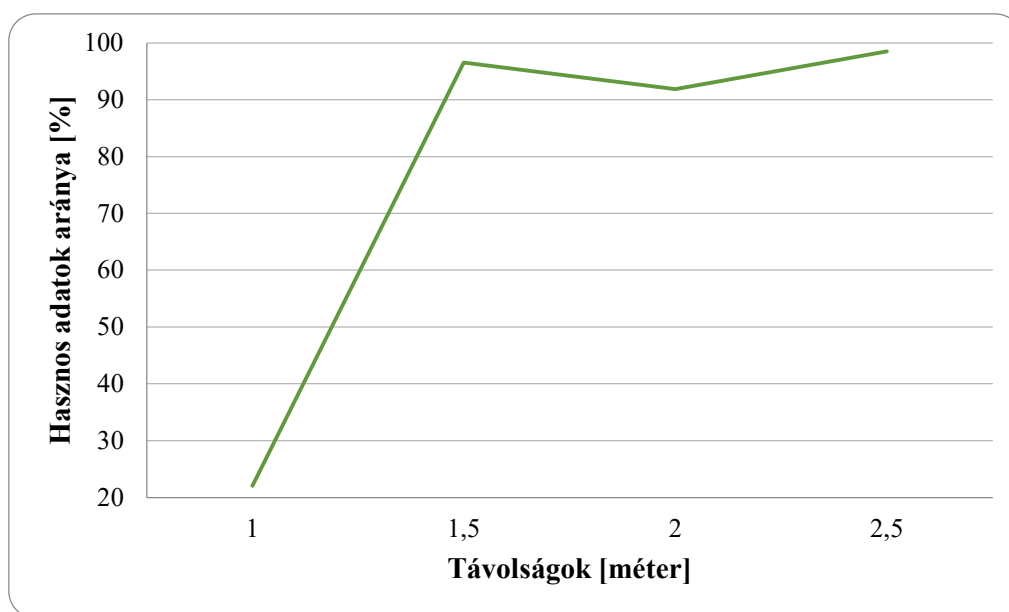
11. táblázat: 6.típusú elrendezés hasznos adat aránya

Hasznos adat	220
Összes adat	997
Arány [%]	22,07

12. táblázat: 6.típusú elrendezés mutatószámai

	X	Y
Átlag	-5,941	-17,71
Szórás	17,167	37,682
Medián	-0,083	-6,213
Maximum	6,899	-5,628
Minimum	-81,683	-140,804
Variancia	294,711	1419,962

A pontosság változását a távolság függvényében a 19. ábra mutatja meg.



19. ábra: 6. típusú elrendezés hasznos adatai

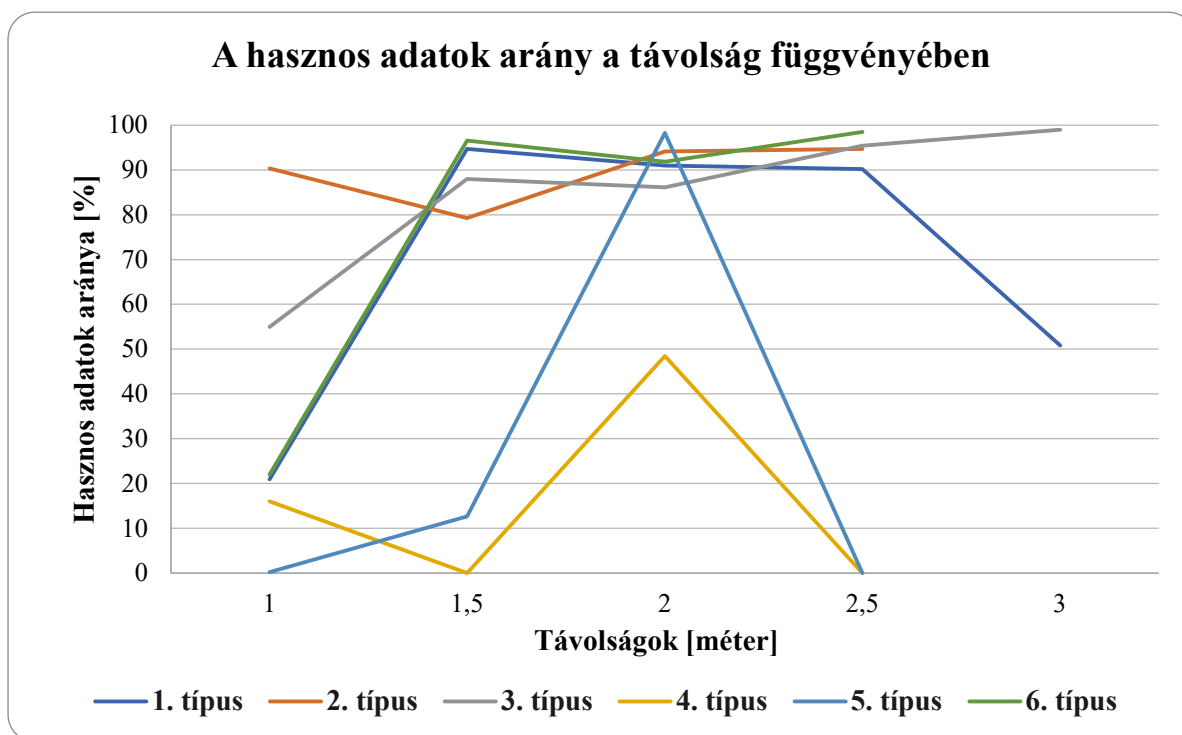
Ez az elrendezéstípus volt a legtöbb jeladóval készült mérésünk. Mivel voltak olyan jeladók melyek szabad rálátással rendelkeztek egymásra, így az első mérési típusnál jelentkező hiba nem állt fenn, habár az elrendezés hasonló volt. A mérések alapján megállapítható, hogy minél több jeladót helyezünk el a rendszerben, annak pontossága annál jobban növekszik. A mérési komponenseket (távolság, stacionárius jeladók száma) viszont a tanszéki korlátok miatt nem

tudjuk tovább növelni, ezért azt, hogy több jeladó esetén kialakul-e túlfedtség, vagy hogy mekkora a hasznos adatok aránya a gyártó által meghatározott maximális távolságok esetén jelen méréseink alapján nem tudjuk megállapítani.

A 20. ábra a távolság függvényében vett pontosság változást vizualizálja. Amint az az előbbieken felvázoltakból látszik, 2 stacionárius érzékelővel is lehet optimális méréseket végrehajtani, ha megfelelő elrendezés használata mellett döntünk. Így a minimum jeladók száma 3, melyből 2 stacionárius és egy pedig mozgó.

Azonban a legpontosabb méréseket 3. típusú elrendezésben tudtuk végre hajtani, az így létrehozott kialakításhoz 5 jeladóra van szükségünk melyből 4 stacionárius és egy mozgó.

Az optimális távolság meghatározásában a 20. ábra lesz a segítségünkre, amely az összes elrendezéstípust ábrázolja a hasznos adatok és a távolság függvényében. Így ez alapján arra a konklúzióra jutottunk, hogy az optimális távolság a 1,5 és 2,5 méter közötti intervallum a mozgó jeladótól.

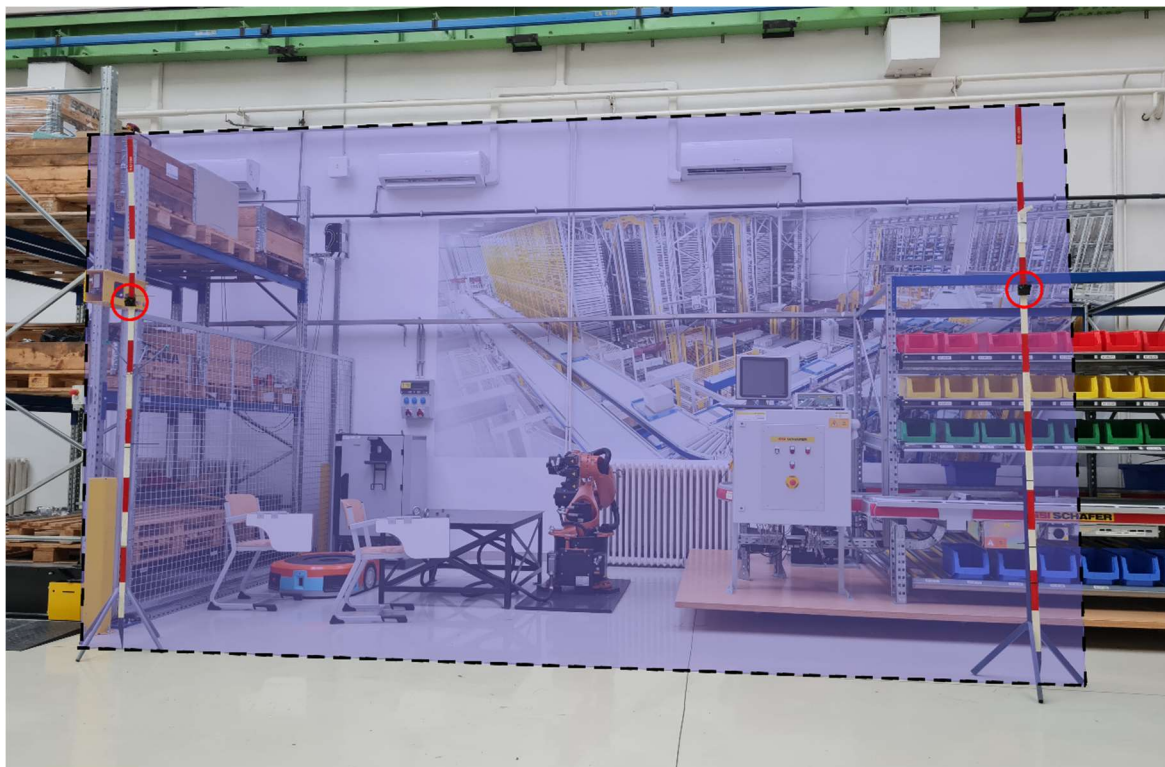


20. ábra: A vizsgált összes elrendezés hasznos adatainak alakulása

4.2. Földtől megemelt pontmérések

A méréseink folytatásaként a stacionárius jeladókat 2 méter magasan rudakra rögzítettük, melyet a 21. ábra szemléltet, majd a két rudat egy vonalban elhelyeztük, úgy, hogy a jeladók között 5 méter legyen. Ezen méréseket elvégezve nem kaptunk kielégítő eredményeket, ezért a Marvelmind Manual [9] [10] hosszas újratanulmányozása, és a céggel való email-es kommunikáció után azzal a hipotézissel álltunk elő, hogy a fix jeladóknak szüksége van

valamilyen az eszközökre függőleges, szolid háttérre, amely a két stacionárius jeladók között konstans. Ezt a 21. ábra segítségével vizualizáltuk.



21. ábra: Stacionárius jeladók rúdra helyezés

Ennek tesztelése érdekében a rudakat egy falfelület elé mozgattuk, majd újabb méréseket végeztünk, melynek eredményei jelentős javulást mutattak. Ezek után azt szeretnénk volna vizsgálni, hogy jelentkezik-e szignifikáns javulás, ha a jeladókat egyenesen a falra rögzítjük, ezzel a rudak használatát elhanyagolva. Ezen elrendezés megvalósítását a 22. ábra mutatja be.



22. ábra: Falra helyezett jeladókkal való mérés

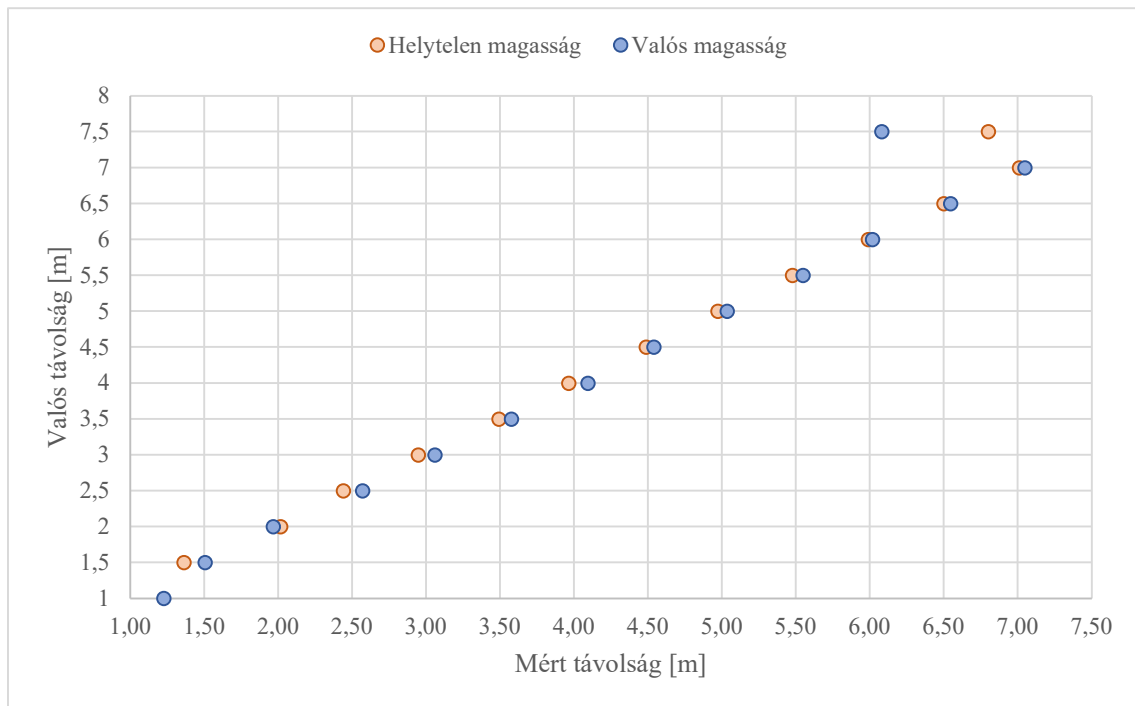
Miután felhelyeztük a jeladókat, a köztük lévő távolságot megfeleztük, és innen 2 méterrel eltávolodva figyeltük a jeladók által mért értékeket. Ekkor egyértelművé vált, hogy a falra rögzített mérések adják az eddigi próbálkozások közül a legpontosabb eredményt, mivel ± 10 cm-es pontosságot produkált. Ezen elrendezés további vizsgálatába kezdtünk. A mérést a faltól fél méterenként végeztük, egészen 7,5 méterig.

Ezt követően megvizsgáltuk, milyen mértékű változást jelent, ha a Marvelmind Dashboard felületén rosszul vesszük fel a mozgó jeladó Z tengelyének, azaz a földtől vett magasságának értékét. Ehhez elvégeztük ugyanezeket a méréseket úgy, hogy a valós magasság felét állítottuk be. Így a két magasság 44 cm, illetve 22 cm lett. A valós, vagyis 44 cm-es magassággal végzett mérések során kapott Y értékeket a 13. táblázat „Valós Z” oszlopában, míg a helytelen mozgó jeladó magassággal mért eredményeket a „Helytelen Z” oszlop összegzi.

13. táblázat: Falra rögzített mérési eredmények

Valós távolságok (Y) [m]	Helytelen Z-vel mért Y távolság [m]	Valós Z-vel mért Y távolság [m]
1	0	1,22
1,5	1,36	1,50
2	2,02	1,97
2,5	2,44	2,57
3	2,95	3,06
3,5	3,49	3,58
4	3,96	4,09
4,5	4,49	4,54
5	4,97	5,04
5,5	5,48	5,55
6	5,99	6,02
6,5	6,50	6,55
7	7,01	7,05
7,5	6,80	6,08

Megfigyelhető, hogy a helytelenül megadott magasság esetén nem sikerült az 1 méter távolságnál használható eredményt mérni, így ezt az értéket nullának vettük fel. Azonban a 23. ábra segít ezen értékek vizualizálásában, melyről megállapítható, hogy 7,5 méter esetén egyik magassággal sem tudott a valóságot megfelelően közelítő értéket felvenni a jeladó. Megfigyelhető továbbá, hogy voltak olyan esetek, amikor a pontatlan magasságot használó mérés pontosabb értéket mért, mint a megfelelő beállításokkal rendelkező mérés során. Ilyen például a 3,5 méternél mért 3,49 méteres és 3,58 méteres értékek.



23. ábra: Különböző mozgó jeladó magassággal mért távolságok

Erre a mérésre, egyrészt a lehetséges felhasználói hibák (hibás magasság érték megadása) következményeinek felmérése miatt volt szükség. Másrészt előkészíthetővé váltak a 2D méréseink, amiből az látható, hogy a nem helyesen megadott Z tengelyű magasságértékekkel is kinyerhetők megfelelő X és Y koordinátájú helyadatok. Továbbá ez nagy fontossággal bír egy olyan 2D mérés esetén is, ahol változik a mozgó jeladó Z tengely menti mozgása is.

4.3. Mérés akadállyal az útban

Az intralogisztikai környezetben számos akadállyal találkozhat egy ultrahangos beltéri helymeghatározó rendszer. Az interferenciáról, a nem megfelelő elrendezésről és a kezelői hibákra vonatkozóan már tettünk következtetéseket, azonban a Line-of-Sight követelményt csak a stacionárius jeladók esetében vizsgáltuk. Egy üzemben előfordulhat, hogy a jeladó elé besétál egy dolgozó, vagy egy anyagmozgató gép is akadályozhatja a rálátást, mivel nem elvárható egy olyan ideális környezet, mint a laboratóriumban. Épp emiatt, a mérés realisztikusabbá tétele érdekében megpróbáltuk ugyanezeket a méréseket reprodukálni úgy, hogy egy másik objektum, jelen esetben egy targonca állt az útban. Az eszköz nem takarta ki teljesen a jeladókat de nehezítette a kommunikációjukat.



24. ábra: Falra helyezett jeladókkal való mérés akadállyal

A 24. ábra által prezentált, esetben a jeladó 2,5 méterre volt a faltól, ekkor a fix jeladók nem látták a mozgót eléggé ahhoz, hogy adatokat regisztráljanak, így azt mondhatjuk, hogy a mérőterületen lévő akadály hatással van a mérés eredményére.

4.4. Laboratóriumi mérések összegzése

A BME L épületének laborjában végzett méréseink legfőbb következtetése, hogy jelentősen jobb minőségű adatokat tudunk kapni akár sokkal nagyobb távolságokról, ha a jeladókat nagy kiterjedésű függőleges felületekre helyezzük el (például falakra).

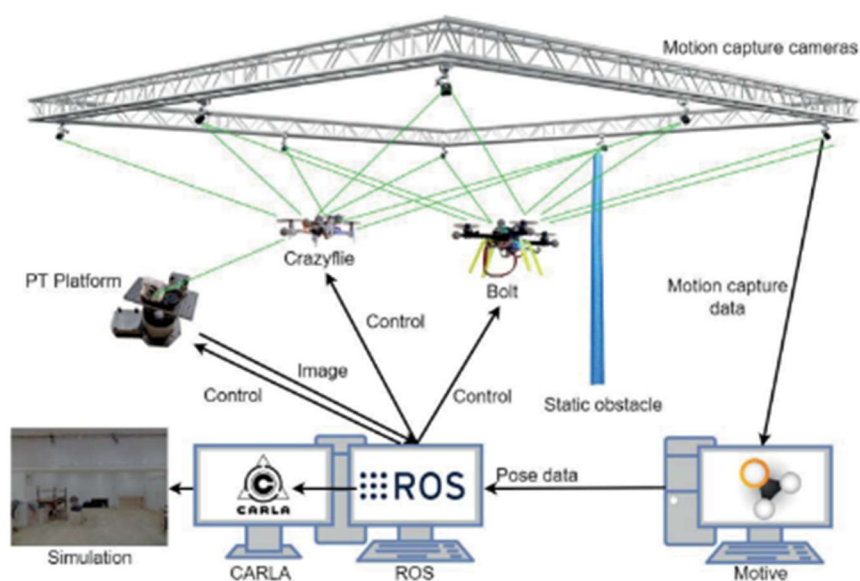
Ezentúl fontos még megemlíteni a pontos magasság beállítását is az ultrahangos rendszer esetében. Mivel, mint ahogy az erre irányult méréseinkből kiderült annak ellenére is meglepően pontos adatokat lehet kinyerni, hogy ez precízen beállításra kerülne.

5. Mérések a MIMO és a Marvelmind felhasználásával

Lehetőséget kaptunk a SZTAKI Gépi Érzékelés Kutatólaboratóriumától a náluk használt beltéri helymeghatározó rendszer használatára, amivel bővíteni tudjuk ezen kutatás spektrumát.

5.1. Mikro érzékelés és gépi Mozgáskövetés aréna

A laboratóriumban egy optikai típusú beltéri helymeghatározó rendszert használnak. Ez összesen tíz darab kamerából és egy számítógépből áll. A 25. ábra az aréna elrendezését szemlélteti.

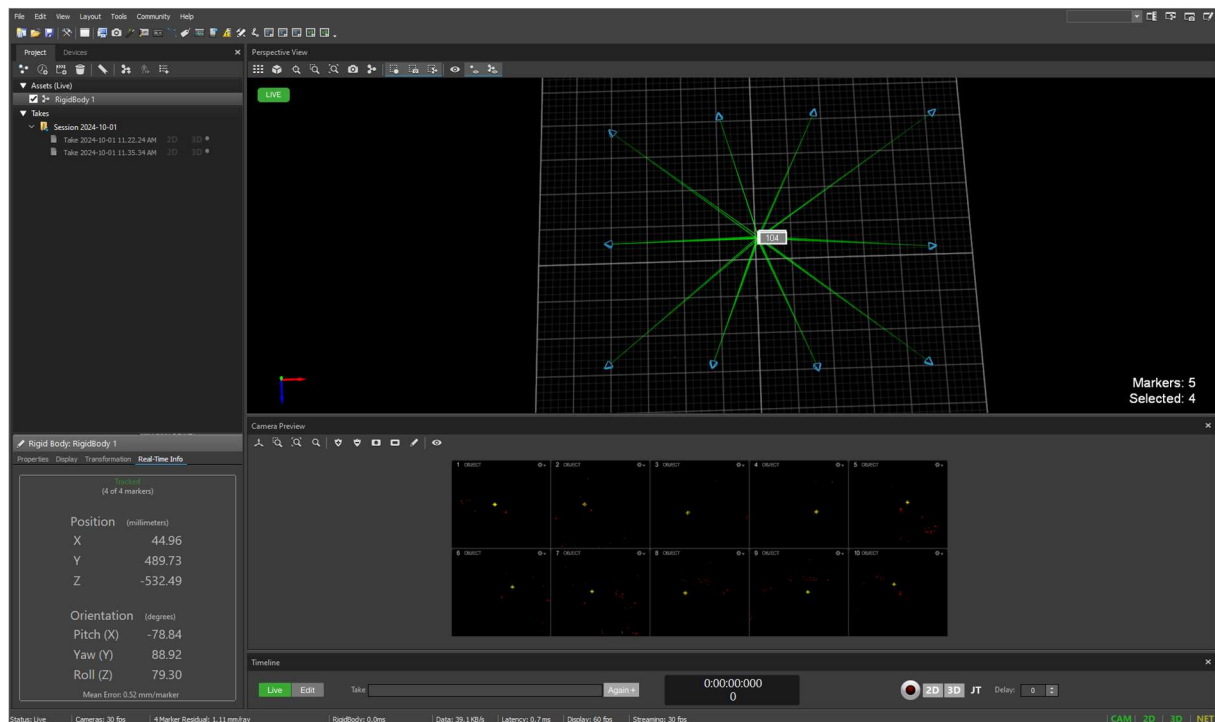


25. ábra: MIMO aréna sematikus ábrázolása [11]

Ennek a berendezésnek a Mikro érzékelés és gépi Mozgáskövetés aréna nevet adták, amit MIMO-nak rövidítenek. Az aréna megnevezést a kialakításának köszönheti. Méreteit tekintve a helyiség 5,9m x 7m és 3,17m belmagasságú. A kamerák egy külön erre a célra készített kereten körülbelül 3 méteres magasságban kerültek elhelyezésre. Az orientációt tekintve a talaj felé vannak döntve, hogy jobb rálátásuk lehessen megfigyelés tárgyát képző eszközre.

Mint a tanszéki laboratórium, az aréna sem mondható teljesen „steril” mérési környezetnek. Mivel az arénában a fal mentén végig asztalok vannak elhelyezve, amiken számítógépek és a hozzájuk szükséges elektromos vezetékek találhatók.

A konfiguráláshoz használt programban ugyanez a felülnézeti elrendezés a 26. ábra által bemutatott módon figyelhető meg. Szintén erről az ábráról látható az aréna elrendezése.



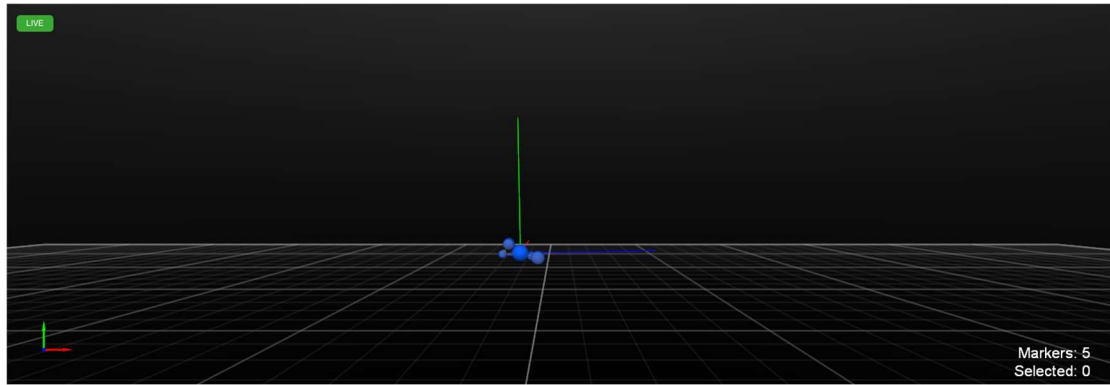
26. ábra: MIMO programban látható felülnézeti mód

A megfigyelni kívánt tárgyra négy darab szürke színű fényvisszaverő anyaggal bevont markert, vagyis jelölőt szükséges elhelyezni jól látható helyen. Erre azért van szükség, mivel ezek segítségével történik a különböző kamerák képei közötti kulcspontkeresés. A kulcspontkeresés során olyan formákat, alakzatok, éleket keres az algoritmus a képeken, amelyek esetleg megegyezhetnek. Ezzel, és a kamerák közötti távolság adatok segítségével könnyen tud pontos távolságot számolni az algoritmus. [12] [11] Az általunk használt marker elrendezést a 27. ábra vizualizálja, amellyel lehetőség nyílik a mozgó jeladó helyadatának a meghatározására a MIMO-aréna által.



27. ábra: MIMO markerekkel ellátott Marvelmind jeladó

A markerek elhelyezését követően a számítógépen lévő szoftverbe be kell tölteni egy előre elkészített kalibrációs fájlt. Ezt követően a felhelyezett formákat kijelölve létrehozhatjuk a szoftverben is a követni kívánt tárgyat. A kijelölt objektumot a 28. ábra mutatja be.



28. ábra: MIMO programban kijelölt objektum

Ezzel az eszközzel a SZTAKI által szolgáltatott anyagok alapján nagyon precíz, körülbelül milliméteres pontosságú méréseket lehet végezni. Ez jelentősen túlszárnyalja a Marvelmind által ígért pontosságot, viszont a két rendszer között jelentős beruházási költségbeli különbségek vannak. Ezért abban az esetben, ha nincs szükség erre a szintű pontosságra, indokolatlan lenne ez a mértékű plusz befektetés. A kérdés már csak az, hogy képesek-e ezek a rendszerek az általuk ígért megbízhatóságot, pontosságot biztosítani.

A megfelelő mérési eredmény érdekében legalább 3 kamera objektumra látására van szükség. A 10 kamera közül tetszőleges mennyiségű „átváltható” kameramódra, amivel a mérés dokumentálása leegyszerűsödik, hiszen vizuálisan is dokumentálva lesznek a mérések. A Marvelmind rendszerével ellentétben a program jelzi a mérési pontosság értékét a kalibrálást követően. A Marvelmind rendszerhez hasonlóan itt is megjelenik rálátási követelmény, azonban ez a kamerák számossága miatt, csak azokban az esetekben jelenthet problémát, amikor közvetlen a kamerák által lehatárolt terület szélének közelébe érünk.

5.2. A két rendszer összehasonlítása

A következőkben több, különböző szempont szerinti összehasonlítását tekinthetjük meg az általunk használt eszközöknek. Ezeket a 14. táblázat jeleníti meg nekünk.

14. táblázat: Marvelmind és MIMO rendszerek összehasonlítása

	Marvelmind	MIMO
Pontosság	2 cm	Pár mm-es
Kivétel a dobozból előkészítése	Fél óra	Több óra
Előkészítés	10-20 perc	Pár perc
Kalibrálás	Jeladók számától függően 2-5 perc	Pár perc
Adatok mennyisége [db/mp]	6 - 9	Akár 120
Kimentet fájl	.csv	
Kimentet fájl kezelhetősége	Könnyű	
Használat közbeni hiba	Gyakori	Ritka
Költség	Relatíve kicsi	Nagy

Fontos megjegyezni, hogy az előkészítési idő nagyban függ a rendszer használójának gyakorlottságától, illetve a Marvelmind esetében a stacionárius jeladók elhelyezési igényeitől.

A MIMO első használatnál azaz a rendszer telepítésénél időigényes, mivel a kamerák elhelyezése nagy precizitást igényel, hasznos lehet egy erre szánt keret elkészítése is, ami szintén nagyobb időráfordítással jár. Ezzel szemben a Marvelmind eszköze már a „dobozból kivéve” egy gyors szoftverfrissítést követően használhatóvá válik.

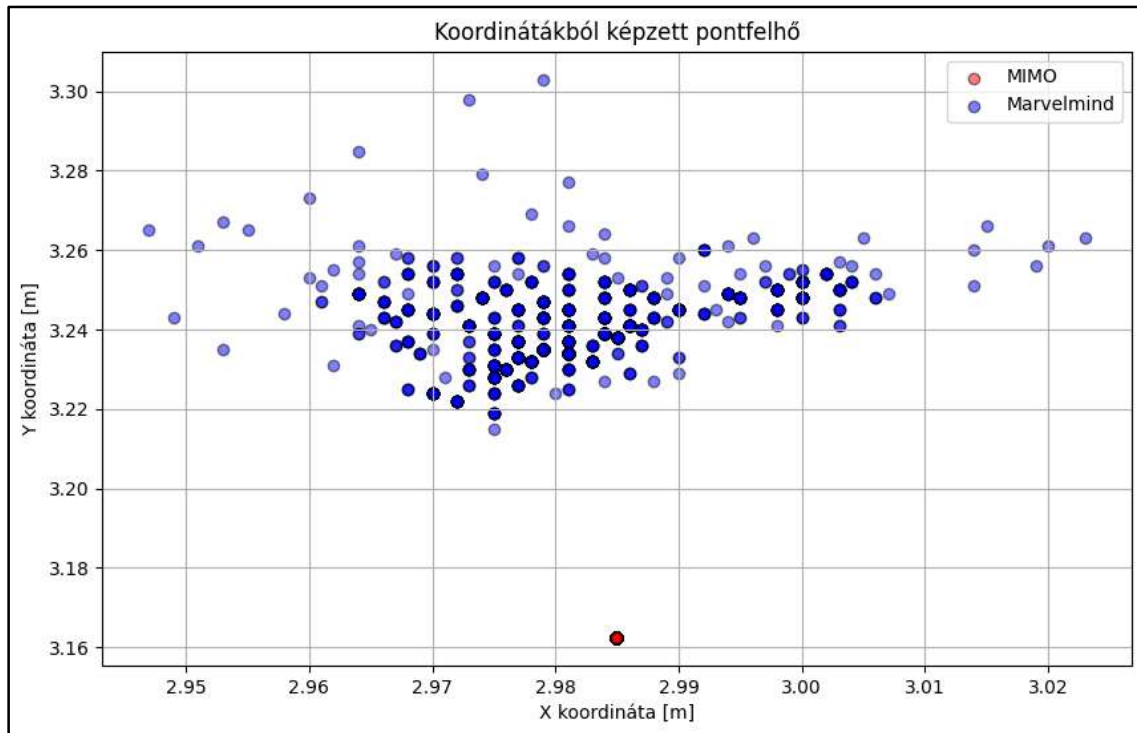
A MIMO egy statikus rendszer, mivel minden egyes alkalommal, amikor átrendezésre kerül a kialakítás, újra kell kalibrálni. Bár ez elmondható a versenytársáról is, igaz az ultrahangos eszköz esetében ez az idő jelentősen alacsonyabb, tekintve, hogy csak a jeladók közötti távolságot kell megadni.

Fontos még megemlíteni, hogy a két rendszer összehasonlításakor figyelembe kellett venni a rendszerek dimenzió közötti eltéréseket. Például az a tengely, ami a MIMO esetében az Y az a Marvelmind esetében Z tengely, így ezeket a mért eredmények feldolgozásakor fel kellett cserélni.

5.3. Pont mérések

Először az MIMO aréna rendszerével való összehasonlítás volt a célunk, így újra a pont mérésekkel kezdtünk. A korábban szerzett tapasztalataink alapján itt alaphoz falra helyeztük el a stacionárius jeladóinkat. Elsőnek a felületre merőlegesen, az eddigiekkel megegyező módon.

Első mérésként a MIMO origóját képző pontba helyeztük el a Marvelmind „mozgó” jeladóját. Ezen mérések eredményeit a 29. ábra prezentálja egy pontfelhő formájában.



29. ábra: Pontfelhő a falra merőleges megoldásról

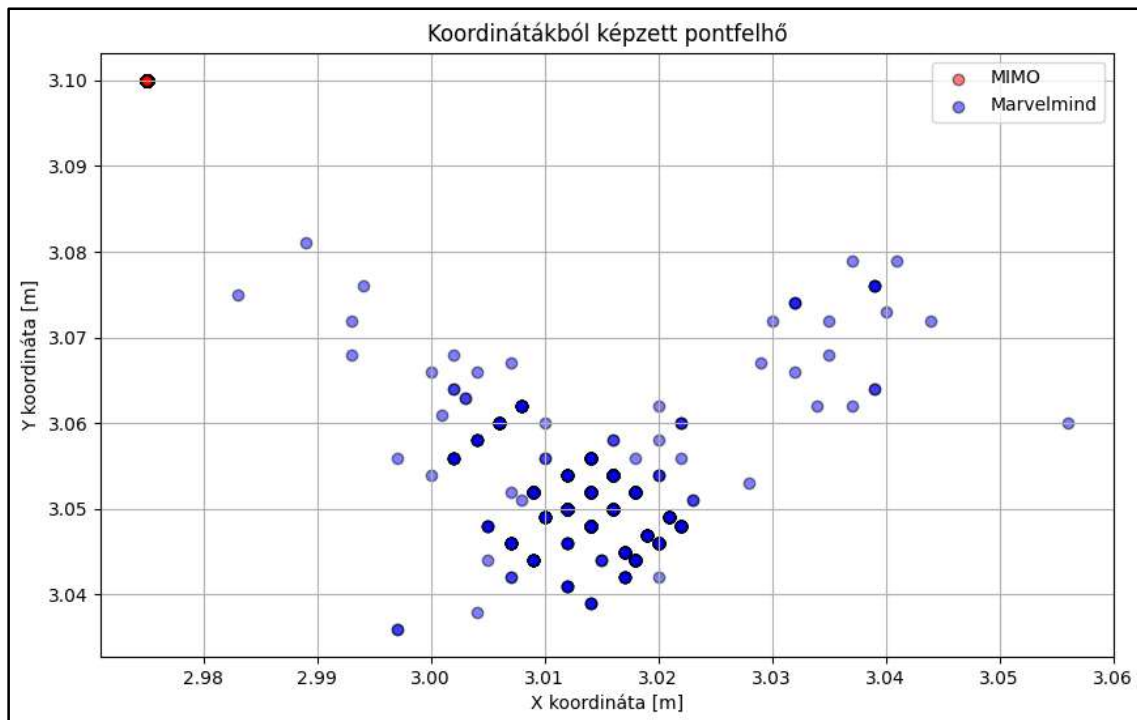
Itt látható, hogy a MIMO által kapott értékek sokkal kisebb szórással rendelkeznek, azonban az általunk mért Y távolság 3 méter volt, amit a Marvelmind eléggé nagy szórással közelített, de a MIMO csak másfél centimétert tévedett, szinte jelentéktelen szórással.

Majd ezt követően a falra 45°-os szöget bezárva helyeztük el a fix jeladókat. Ez az elrendezés a Manual-ban[9] jelenik meg. Ezt az új felhelyezési megoldást a 30. ábra mutatja be.



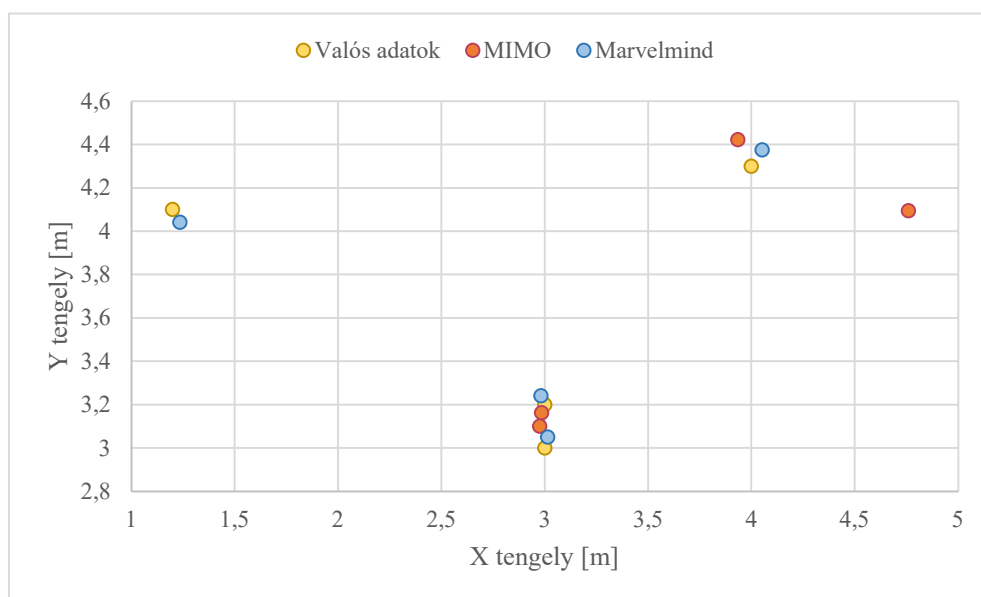
30. ábra: Falra 45°-ban helyezett stacionárius jeladó

Erről a mérésről készítettünk egy pontfelhőt is, amit a 31. ábra mutat meg. A pontfelhő alkalmas a két technológia közötti pontossági különbségek szemléltetésére is. Esetünkben a valós érték körülbelül 3 méter az X tengely esetében, és 3,08 méter az Y tengelynél.



31. ábra: Pontfelhő a falra 45°-os szöget bezáró megoldásról

A további mérési pontokat véletlenszerűen helyeztük el a térben, ezzel biztosítva, hogy a mérés során a teljes lefedettségre vonatkozóan megállapítható legyen a pontosság. Ez azért szükséges, hogy az egész terület mérési pontosságát jobban vizsgálhassuk, így az eredmények reálisabb képet adjanak a teljes pontosságáról. Az erről készült pontfelhőt a 32. ábra prezentálja.



32. ábra: Pontfelhő a véletlenszerű helyekre

Amint az a fenti ábrán is látható, egy kivétellel nagyon kicsi eltéréssel sikerült a pontokat meghatározni a különböző rendszereknek.

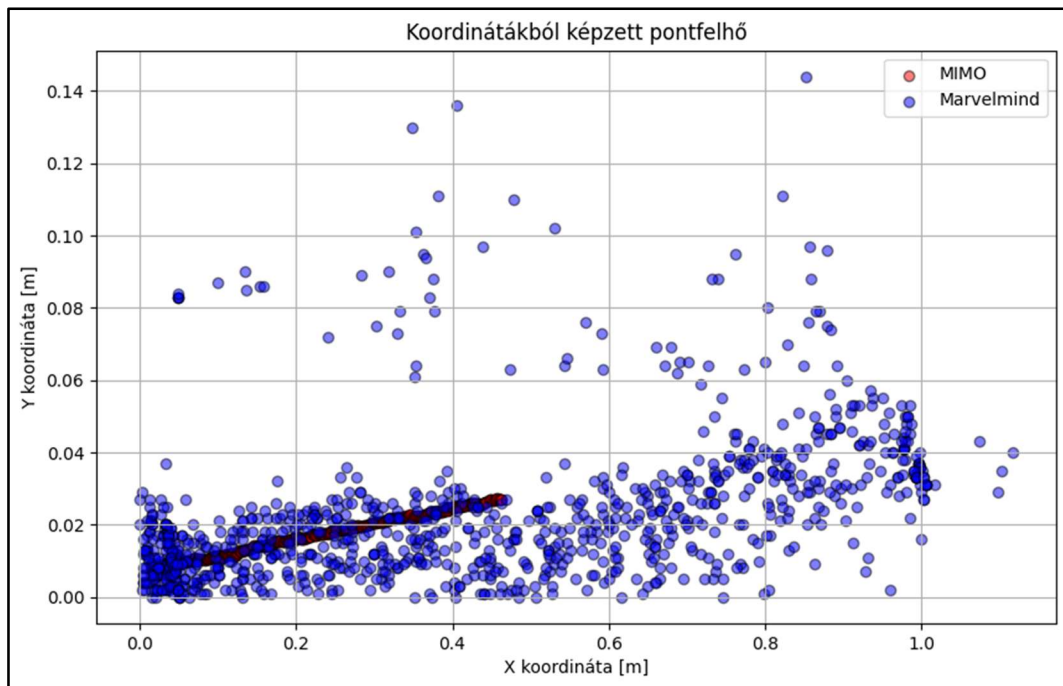
5.4. 2D mérések

Ezt követően a 2D mérések elvégzésére került sor. Itt elsőnek egy adott trajektórián, esetünkben egy vonalon mozgó jeladóról van szó. Ahhoz, hogy ezt megtudjuk valósítani egy modell vonatot használtunk. A jeladó vonaton való elhelyezését a 33. ábra vizualizálja.



33. ábra: Jeladó elhelyezése egy modell vonaton

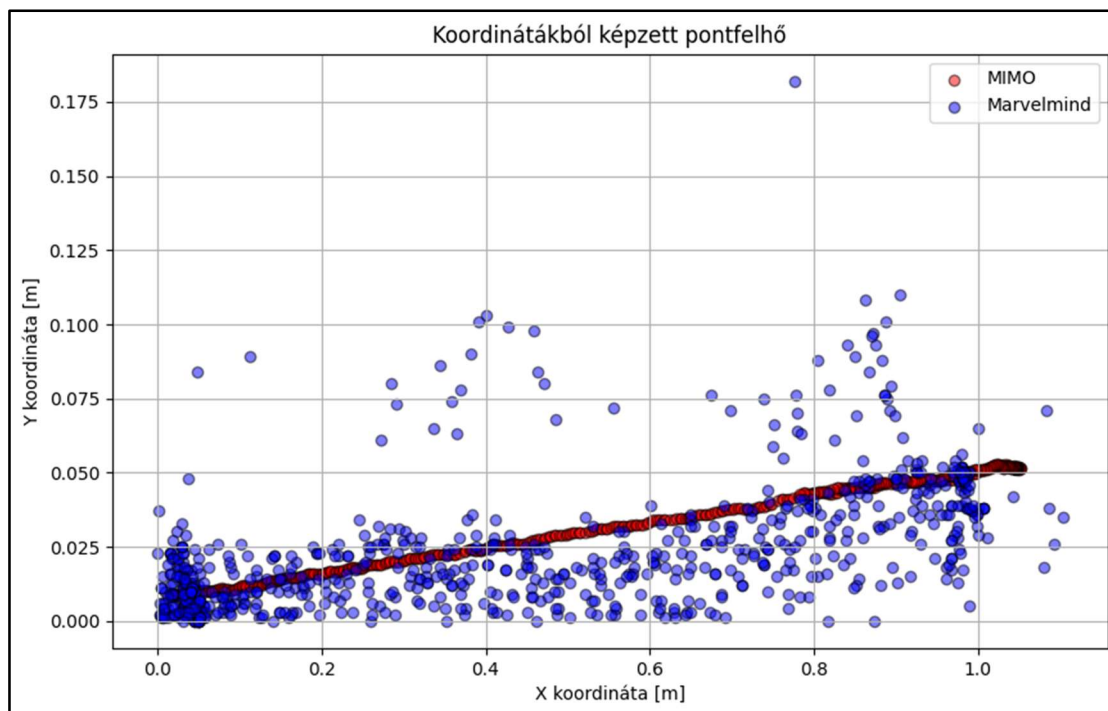
Az elsőnek mért adatokat egy pontfelhőben ábrázoltuk, amely a 34. ábra által kerül bemutatásra. Itt mind a két rendszer origóját ugyanoda helyeztük, ezzel könnyítve az adatok feldolgozását és a pontfelhő értelmezését. A vasúti sín párt az X tengelyre helyeztük rá, azonban a mérésekből kiderült, hogy az illesztés nem lehetett teljesen pontos, körülbelül 5 centiméterrel feljebb helyezkedik el a jobb széle az az az origótól távolabbi vége a sínnek. Ténylegesen 103,5 cm volt a pálya hossza.



34. ábra: Pontfelhő az első vonal mérésről

Ahogy az a pontfelhőn is látszik a MIMO nem tudta végig követni az objektumot, körülbelül 50 centimétert tett meg szerinte a jeladó, holott a valóságban ennek a duplája volt a sín hossza. A Marvelmind jelentősen nagyobb szórással rendelkezik, de végig képes volt követni a mozgást.

Ezt a mérést megismételtük még egyszer, amikor nem változtattunk az elrendezésen semmit, ellenben a mozdony sebességét megnöveltük. Ennek az eredményét a 35. ábra illusztrálja szintén egy pontfelhő formájában.



35. ábra: Pontfelhő az második vonal mérésről

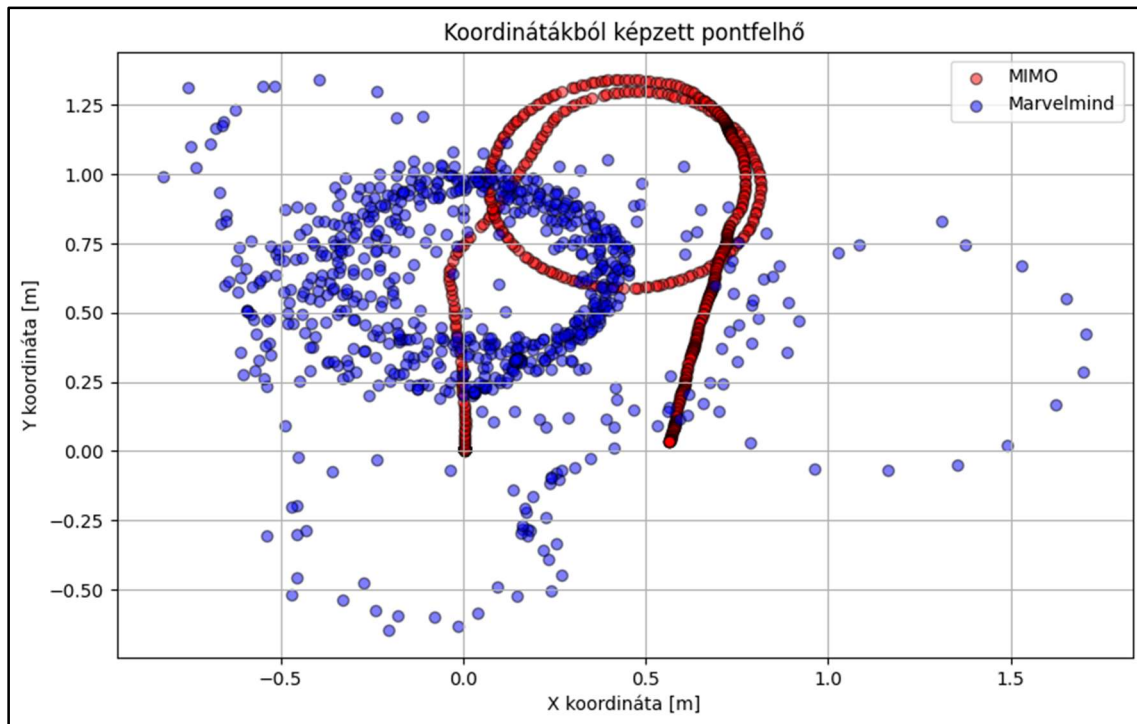
Itt már sokkal pontosabban követte a MIMO rendszer is a jeladó útvonalát. A Marvelmind eszközei továbbra is ugyan olyan mérési pontossággal tudtak dolgozni. Ezen eredményekből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy ezen eszközök pontosabb eredményeket szolgáltatnak egy relatív nagyobb sebességű haladás esetén.

Ezen mérések után nemkötött pályás mozgást vizsgáltunk, hanem egy szabad mozgású eszközt. A mérések során egy kis távirányítás autóra rögzítettük a jeladót, amit az 36. ábra szemléltet.



36. ábra: Jeladó elhelyezése egy távirányítás autón

Mért adatok trajektóriája a 37. ábra által kerül prezentálásra.



37. ábra: Pontfelhő a távirányítós autó mozgásáról

Megfigyelhető, hogy az eddig sokkal pontosabbnak gondolt MIMO rendszer jelentősen rosszabb eredményeket produkált, mint a kevésbé precíz Marvelmind. Igaz ebben az esetben volt a legközelebb a talajszinthez a követendő objektum, ez lehet befolyásoló tényező volt. A rendszerrel foglalkozó kutatók hívták fel erre a figyelmünket. A valós útvonal az origóból való kiindulás után egy jó pár kört ugyanazon a területen megtesz, majd különböző irányokba további köröket jár be. Ezt a Marvelmind egészen jól végig tudta követni, igaz a kiindulási ponttól kezdve már elcsúszva rögzítette az értékeket, mivel egy rögzített értéke sincs az origóban vagy akár a környezetében.

5.5. 3D mérések

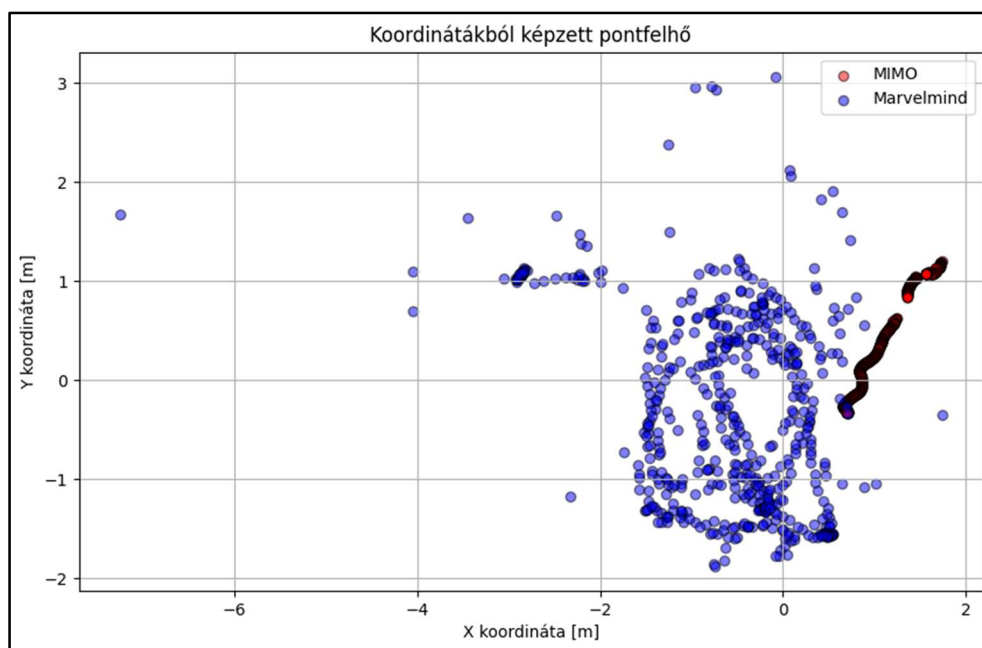
Végezetül a 3D mérések tesztelése következett. A MIMO bármilyen változtatás eszközölése nélkül képes ezen kísérletek végrehajtására is, azonban ez sajnos nem mondható el a Marvelmind rendszeréről.

Az ultrahangos rendszer esetében az általunk előzetesen használt kettő stacionárius jeladó helyett minimum kettő továbbira van szükség, az az összesen négy darabra. A mérések elvégzése előtti előkészítési folyamat időszükséglete is ennek megfelelően növekszik, mivel a földtől vett távolságon túl szükséges még az összes jeladó egymástól vett távolságát is megadni a programnak. A mozgó jeladót pedig át kellett állítani 3D követést is lehetővé tévő módba.

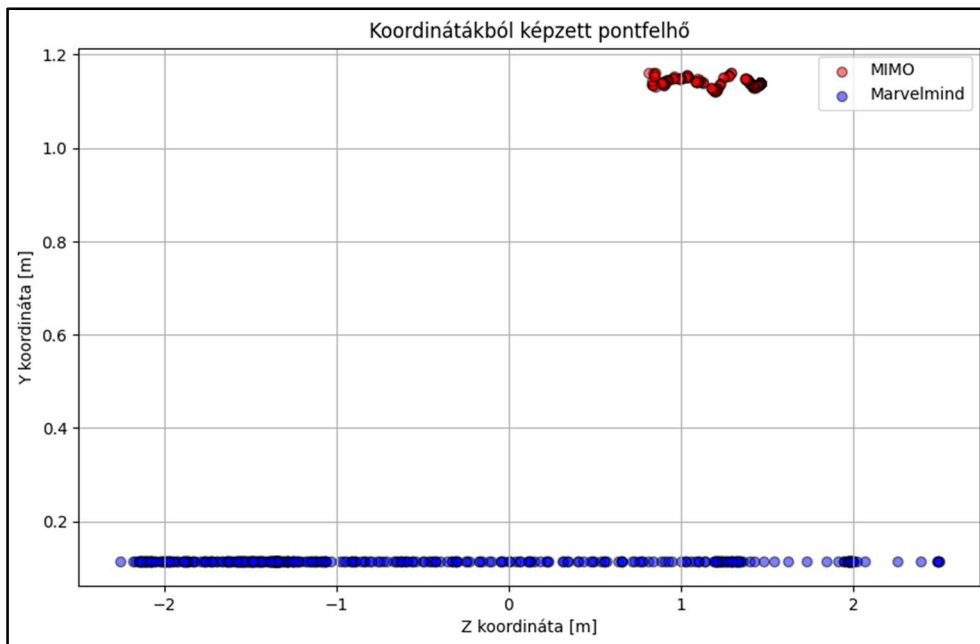
A 3D mérések során igyekeztünk reprodukálni a lehetséges felhasználási módjait ezeknek a rendszereknek. Ezért esett a választásunk egy emberre és egy robotra a konfigurációkat tekintve.

Az első két mérésnél egy ember mozgását próbáltuk lekövetni. Azonban a mérés során előben láttuk, hogy folyamatosan 1 méteres differencia volt a valós térbeli elhelyezkedéssel szemben a Z tengelyt tekintve a Marvelmind kalkulációja szerint. Azaz ami a valóságban körülbelül 1,5 méteres magasságban volt az a mérés szerint 2,5 méteren helyezkedett el. A mérések értékelése során azonban arra lettünk figyelmesek, hogy az egyik mérés során sem kerültek rögzítésre Z irányú koordináták a Marvelmind által. Annak ellenére, hogy a mérés végzésekor mindent kiírt, nem kerültek dokumentálásra az adatok. Fontos megjegyezni, hogy az eszközöket a használati útmutatónak megfelelően készítettük elő.

A MIMO esetében sem voltak sokkal jobbak az adatrögzítések. A rendszer csak egy vonalban rögzített adatokat a sok különböző irányú kör helyet. Ezeket az adatokat a 38. ábra mutatja be. Abból a szempontból viszont jobb volt, hogy ez a rendszer rögzített magassági koordinátákat. A magassági koordinátákat a 39. ábra vizualizálja.

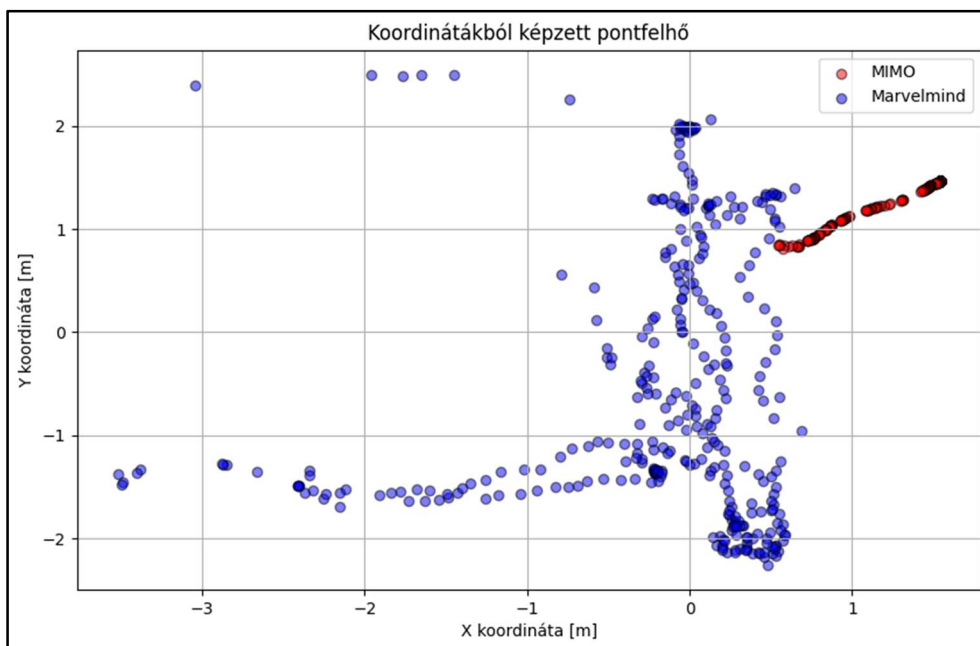


38. ábra: Pontfelhő az első emberrel végrehajtott 3D mérésről (X – Y tengely)



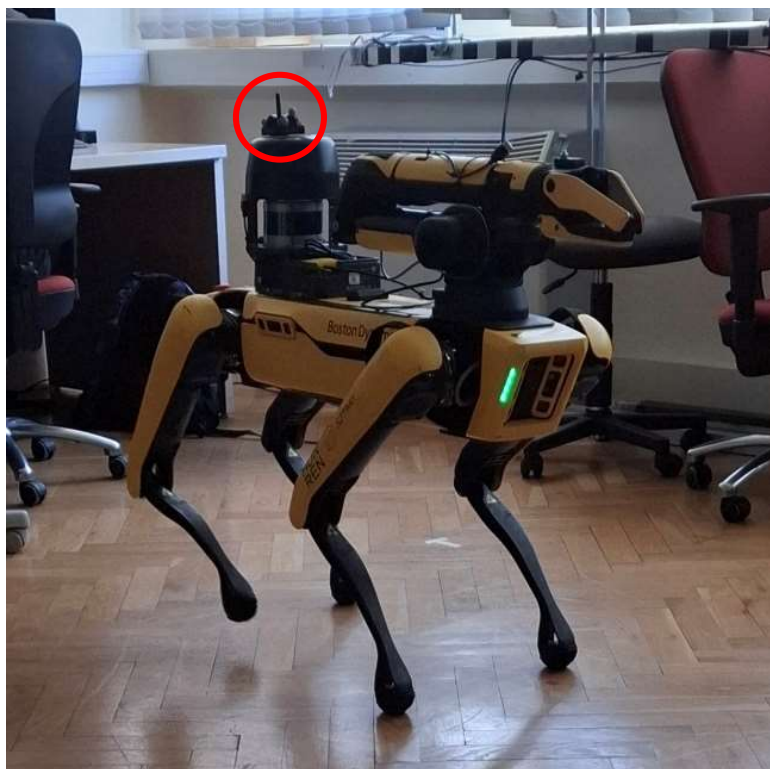
39. ábra: Pontfelhő az első emberrel végrehajtott 3D mérésről (Y – Z tengely)

A második mérés az elsőhöz hasonlóan előre nem definiált útvonalak bejárása volt, a rendszerek által lefedett területen. Az ekkor kapott eredményeket a 40. ábra reprezentálja.



40. ábra: Pontfelhő az második emberrel végrehajtott 3D mérésről

Harmadjára egy Boston Dynamics robotkutyára erősítettük a Marvelmind-os jeladót, amellyel a kutya mozgását, süllyedését és emelkedését igyekeztünk megfigyelni. A robotra erősített jeladót a 41. ábra vizualizálja.



41. ábra: Robotkutyára erősített jeladó

Sajnos a mérések kiértékelésénél derült fény arra a tényre, hogy sem a Marvelmind sem a MIMO nem rögzített adatokat, amikor a robot kutyával végzett mérést hajtottuk végre. Így erről nem tudunk semmilyen pontosságra és akár autonóm eszközökkel való integrálásra irányuló következtetést levonni. Ez azonban jól bemutatja a rendszerek megbízhatatlanságát. Feltételeztük, hogy köze lehetett ennek a működési zavarnak a hosszas üzemidőhöz, de az előző méréseink adatait átvizsgálva ez a hipotézis megcáfolásra került, hiszen számos alkalommal működtettük az eszközöket huzamosabb időn keresztül, mint ezen alkalommal. Egyedül a 3D esetén nem történt hosszabb üzemeltetés, így ennek alkalmazása esetén nem kizárható a feltételezés teljes mértékben, azonban ezen probléma feltárása már nem képezi a dolgozatunk részét, a probléma késői megjelenése miatt.

A másik két mérésből kijelenthető, hogy a Marvelmind eredményesége a magassági (Z) tengely pontos meghatározását tekintve, erőteljesen kudarcként könyvelhető el.

6. Intralogisztikai alkalmazási lehetőségek

A következő fejezetekben részletesen áttekintjük az intralogisztikai folyamatokban alkalmazható különböző felhasználási lehetőségeket, különös tekintettel az irányításra és a nyomon követésre vetített megoldásokra. Ezek az alkalmazási területek hozzájárulhatnak a belső logisztikai folyamatok hatékonyságának növeléséhez, a valós idejű adatgyűjtés és információáramlás javításához, valamint az erőforrások hatékonyabb felhasználásához.

6.1. Irányításra vonatkozó következtetések

Amint azt az előző pontban is láthattuk, az általunk vizsgált eszközök egyike sem szolgáltatott olyan minőségű adatokat, amelyek lehetővé tették volna a kellő megbízhatóságú adatgyűjtést és rögzítést. Ezek elmaradása már önmagában problémákat okoz. Ebből viszont feltételezhető, hogy a valós idejű nyomon követés még kevésbé lenne hatékony. Ez azonban nélkülözhetetlen az irányítás szempontjából.

Abban az esetben, ha mind a kettő rendszert szeretnénk alkalmazni elengedhetetlen egy olyan program létrehozása, amely valós időben képes az adatokat kinyerni a két programból, ezeket párhuzamba helyezné és ezekből az irányítás szempontjából fontos információkká konvertálná. Ez viszont elmondható bármely két helymeghatározási eszközről nem csak az általunk használtakra igaz. Általánosságban elmondható, hogy nem készülnek direktben olyan programok, amelyek több különböző megoldást integrálnak. Ezért ezeket a szoftvereket a felhasználóknak saját maguknak kell elkészíteniük, ami speciális tudást és jelentős időráfordítást igényel.

Az irányításban való felhasználhatóságát a 42. ábra szemlélteti a legjobban.



42. ábra: Kép a helymeghatározó eszközökkel ellátott robotkutyáról

6.2. Nyomon követésre vonatkozó következtetések

A Marvelmind a különböző körülmények között is relatíve megbízható adatokat tudott szolgáltatni (a 3D mérések kivételével). A jelentős szórásának ellenére is sokkal hatékonyabbnak ítéltük meg ezt a rendszert. A szórás kezelése történhet különböző szűréseket végrehajtó algoritmusokkal.

Az előzőleg említett saját fejlesztésű program problémája ugyanúgy kiterjed erre a témakörre is.

A 2D technológia pontossági korlátai miatt csak „nagyvonalú” eredményekkel lehet számolni. Például targonca követésére megfelelő lehet, amennyiben az objektum elég nagy méretű, így a pozíció becslése elfogadható pontosságot nyújt. Azonban kisebb és pontosabb követést igénylő eszközök, mint az AGV-k vagy drónok esetében, már nagyobb precizitás szükséges a követéshez, amit ez a technológia nem tud biztosítani. Emellett figyelembe kell venni a jelvesztés és a hibák gyakoriságát is, ami tovább korlátozza a rendszer megbízhatóságát.

A nyomon követésben való felhasználhatóságát a 43. ábra szemlélteti a legjobban. Mivel ilyen és ehhez hasonló eszközökkel nyomon követhetőek a humán erőforrásaink.



43. ábra: Kép egy helymeghatározó eszközökkel ellátott sisakról

7. Összefoglalás

A kutatás során több lépésben történt a beltéri helymeghatározó rendszer vizsgálata. Ezek a lépések a következők voltak:

1. IPS (Indoor Positioning System) technológia vizsgálata, megismerése szakirodalom által.
2. Mérések elvégzése az L épület laborjában, ahol a különböző elrendezések vizsgálata során a fizikai helyzet és a Marvelmind Indoor GPS nyújtotta helyadatokat kerültek összehasonlításra. Itt fontos kiemelni a vélt interferencia felfedezését, vizsgálatát és bizonyítását. Tehát egy ilyen rendszer integrálása előtt a környezeti hatásokat is megfelelő mértékben tanulmányozni, vizsgálni és mérni kell. Megtörtént a Line-of-Sight rálátási követelmény kiterjesztése a stacionárius jeladókra. Emellett megállapítottuk, hogy a legjobb laboratóriumi elrendezésnek a falra rögzített stacionárius jeladókkal való mérések bizonyultak, mivel ezek produkálták a legpontosabb eredményeket.
3. A kutatásunkat az L épületből a SZTAKI egyik laborjába helyeztük át, ahol megismertünk egy új beltéri helymeghatározó technológiát, a MIMO-t (Mikro érzékelés és gépi Mozgáskövetés aréna). Ezt az számunkra új technológiát, a fizikai helyzetet és a Marvelmind rendszerét felhasználva 1D, 2D és 3D méréseket végeztünk.
4. A mérésekkel párhuzamosan megtörténtek a kiértékelések és következtetések megfogalmazására is sor került a helymeghatározásra vonatkozóan.
5. Végezetül az alkalmazási lehetőségek kerültek összegyűjtésre irányításra és nyomon kövételre vonatkozóan.

A további fejlesztéseket illetően érdemes a szenzorfüzióban gondolkodni, ha ragaszkodunk a Marvelmind-os helymeghatározáshoz (egyéb szenzorok, akár más helymeghatározó, távolságmérő a Z tengelyhez) az objektumra helyezésével. A szenzorfüzió alkalmazása esetén érdemes lehet egy olyan program létrehozása, amely automatizáltan képes az adatok feldolgozására. Ennek egy szinttel magasabb verziója ugyanezt a tevékenységet valós időben lehetne képes elvégezni.

Úgy gondoljuk a technológia elengedhetetlen, azonban fenntartásokkal szükséges kezelni a használatát. A már bemutatott problémák tudatában érdemes csak beruházni az eszközökre, és a célnak megfelelő előkészítő méréseket végrehajtani.

Ábrajegyzék

1. ábra: Marvelmind jeladó[3]	6
2. ábra: EPC folyamat ábra a mérések végre hajtásáról	7
3. ábra: 1. típusú elrendezés felülnézete	9
4. ábra: 2. típusú elrendezés felülnézete	10
5. ábra: 3. típusú elrendezés felülnézete	10
6. ábra: 4. típusú elrendezés felülnézete	11
7. ábra: 5. típusú elrendezés felülnézete	11
8. ábra: 6. típusú elrendezés felülnézete	12
9. ábra: 1.típusú elrendezés fizikai megvalósulása	14
10. ábra: 1. típusú elrendezés hasznos adatai	15
11. ábra: 2. típusú elrendezés fizikai megvalósulása.....	16
12. ábra: 2. típusú elrendezés hasznos adatai	17
13. ábra: 3.típusú elrendezés fizikai megvalósulása.....	17
14. ábra: 3. típusú elrendezés hasznos adatai	18
15. ábra: 4.típusú elrendezés fizikai megvalósulása.....	19
16. ábra: 4. típusú elrendezés hasznos adatai	20
17. ábra: 5.típusú elrendezés fizikai megvalósulása.....	20
18. ábra: 5. típusú elrendezés hasznos adatai	21
19. ábra: 6. típusú elrendezés hasznos adatai	22
20. ábra: A vizsgált összes elrendezés hasznos adatainak alakulása.....	23
21. ábra: Stacionárius jeladók rúdra helyezés	24
22. ábra: Falra helyezett jeladókkal való mérés	24
23. ábra: Különböző mozgó jeladó magassággal mért távolságok.....	26
24. ábra: Falra helyezett jeladókkal való mérés akadállyal	27
25. ábra: MIMO aréna sematikus ábrázolása [6].....	28
26. ábra: MIMO programban látható felülnézeti mód.....	29
27. ábra: MIMO markerekkel ellátott Marvelmind jeladó	29
28. ábra: MIMO programban kijelölt objektum	30
29. ábra: Pontfelhő a falra merőleges megoldásról	32
30. ábra: Falra 45°-ban helyezett stacionárius jeladó	32
31. ábra: Pontfelhő a falra 45°-os szöget bezáró megoldásról	33
32. ábra: Pontfelhő a véletlenszerű helyekre	33
33. ábra: Jeladó elhelyezése egy modell vonaton.....	34
34. ábra: Pontfelhő az első vonal mérésről.....	35
35. ábra: Pontfelhő az második vonal mérésről.....	36
36. ábra: Jeladó elhelyezése egy távirányítós autón	36
37. ábra: Pontfelhő a távirányítós autó mozgásáról.....	37
38. ábra: Pontfelhő az első emberrel végrehajtott 3D mérésről (X – Y tengely)	38

39. ábra: Pontfelhő az első emberrel végrehajtott 3D mérésről (Y – Z tengely).....	39
40. ábra: Pontfelhő az második emberrel végrehajtott 3D mérésről	39
41. ábra: Robotkutyára erősített jeladó.....	40
42. ábra: Kép a helymeghatározó eszközökkel ellátott robotkutyáról.....	41
43. ábra: Kép egy helymeghatározó eszközökkel ellátott sisakról.....	42

Táblázatjegyzék

1. táblázat: 1.típusú elrendezés hasznos adat aránya	14
2. táblázat: 1.típusú elrendezés mutatószámai	14
3. táblázat: 2.típusú elrendezés hasznos adat aránya	15
4. táblázat: 2.típusú elrendezés mutatószámai	16
5. táblázat: 3.típusú elrendezés hasznos adat aránya	18
6. táblázat: 3.típusú elrendezés mutatószámai	18
7. táblázat: 4.típusú elrendezés hasznos adat aránya	19
8. táblázat: 4.típusú elrendezés mutatószámai	19
9. táblázat: 5.típusú elrendezés hasznos adat aránya	21
10. táblázat: 5.típusú elrendezés mutatószámai	21
11. táblázat: 6.típusú elrendezés hasznos adat aránya	22
12. táblázat: 6.típusú elrendezés mutatószámai	22
13. táblázat: Falra rögzített mérési eredmények	25
14. táblázat: Marvelmind és MIMO rendszerek összehasonlítása	31

Hivatkozásjegyzék

- [1] „Ultra Wide Band Indoor Positioning System: analysis and testing of an IPS technology - ScienceDirect”. Elérés: 2024. november 7. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318314162>
- [2] „What is Intra-Logistics?” Elérés: 2024. április 9. [Online]. Elérhető: <https://www.leanmaterialhandling.com/what-is-intra-logistics/> 81
- [3] „diplomaterv_3.mérföldkö_Molnár-MajorPetra8.pdf”. Elérés: 2024. márciu 7.
- [4] V. Barral, P. Suárez-Casal, C. J. Escudero, és J. A. García-Naya, „Multi-Sensor Accurate Forklift Location and Tracking Simulation in Industrial Indoor Environments”, *Electronics*, köt. 8, sz. 10, o. 1152, okt. 2019, doi: 10.3390/electronics8101152.
- [5] Rainer Mautz, „Indoor positioning technologies.” Elérés: 2024. május 12. [Online]. Elérhető: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/54888>
- [6] „Indoor navigation and positioning”. Elérés: 2024. március 5. [Online]. Elérhető: https://marvelmind.com/pics/marvelmind_indoor_positioning_technologies_review.pdf
- [7] Dr. Bóna Krisztián, „Üzemszervezstan alapjai: Folyamatok formalizációja”, 2022. február 22.
- [8] Dr. Bóna Krisztián, „Anyagmozgatási, raktározási folyamatok”, BME KJK ALRT, 2024. március 20. [Online]. Elérhető: URL:https://www.logisztika.bme.hu/hu/?option=com_content&view=article&id=34
- [9] „marvelmind_navigation_system_manual.pdf”. Elérés: 2024. november 7. [Online]. Elérhető: https://marvelmind.com/pics/marvelmind_navigation_system_manual.pdf
- [10] „Placement Manual”.
- [11] „Autonomous racing of micro air vehicles and their visual tracking within the Micro aerial vehicle and MOtion capture (MIMO) arena”. 2022. június 21.
- [12] Y. Jeong, T. K. Agrawal, E. Flores-García, és M. Wiktorsson, „A reinforcement learning model for material handling task assignment and route planning in dynamic production logistics environment”, *Procedia CIRP*, köt. 104, o. 1807–1812, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.11.305.

