



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

TDK DOLGOZAT

*Intralogisztikai rendszerek
megfigyelésének támogatása drónokkal*

Készítette:
Juhász Roland
Mészáros Bálint

Konzulens:
Dr. Bóna Krisztián

2017

Tartalomjegyzék

1	BEVEZETÉS	4
2	DRÓNOK A LOGISZTIKÁBAN, LEHETSÉGES ALKALMAZÁSOK	6
2.1	LELTÁR	6
2.2	KOMISSIÓZÁS	8
2.3	KISZÁLLÍTÁS	10
2.4	MINTAVÉTELES MUNKANAPFELVÉTEL.....	13
2.4.1	<i>Mintavételes munkanapfelvétel menete</i>	14
2.4.2	<i>Mintavételes munkanapfelvétel drónokkal</i>	16
2.4.3	<i>Egyéb alternatívák a mintavételes munkanapfelvétel támogatásában</i>	17
2.5	IPAR 4.0, GLOBÁLIS TRENDEK.....	19
3	A TERVEZETT RENDSZER FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE	21
3.1	RENDSZERELEMEK	22
3.1.1	<i>A megfelelő drón kiválasztása</i>	24
3.1.2	<i>Wi-Fi</i>	27
3.1.3	<i>Bluetooth Low Energy (Beacons)</i>	27
3.1.4	<i>Ultra-wideband technology (UWB) [32-42]</i>	28
3.1.5	<i>Informatikai, hálózati architektúra</i>	32
3.1.6	<i>Humán interfész</i>	33
3.2	KÖVETŐ SZABÁLYZÓ	33
3.2.1	<i>A szükséges adatok a koordináláshoz</i>	35
3.2.2	<i>A szimuláció felépítése</i>	38
3.2.3	<i>Alapvető megközelítés</i>	39
3.2.4	<i>Az objektum pályájának leírása</i>	40
3.2.5	<i>A drón irányítása</i>	41
3.2.6	<i>Szimulációs eredmények</i>	45
4	KÖLTSÉGGKALKULÁCIÓ	50
4.1	HAGYOMÁNYOS MINTAVÉTELES MUNKANAPFELVÉTEL	50
4.1.1	<i>Specifikációs szakasz, fix költségek</i>	50
4.1.2	<i>Változó költségek</i>	50
4.2	DRÓNOKKAL TÖRTÉNŐ MINTAVÉTELES MUNKANAPFELVÉTEL	52
5	KÖVETKEZŐ LÉPÉSEK	55

5.1	A MEGOLDÁSBAN REJLŐ TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK.....	56
6	BEFEJEZÉS, ÖSSZEGZÉS.....	58
7	IRODALOMJEGYZÉK.....	59
8	ÁBRAJEGYZÉK.....	64
9	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	66
10	MELLÉKLETEK.....	66

1 Bevezetés

Rendkívül fontosnak tartjuk, hogy az innovációra leginkább fogékony területeken olyan meghatározó és újszerű fejlesztésekkel foglalkozzanak az adott terület kutatói, ami hosszútávon jelentős előrelépést biztosíthat mind a tudománynak, mind pedig a gyakorlati alkalmazások számára. Ennek egy prominens példája napjainkban az autonóm eszközök területén zajló hatalmas fejlesztés, aminek kapcsán az autóiipar látszik az intelligenciával felruházott eszközök bevezetésének úttörőjének, azonban a logisztika területén is rengeteg fejlesztés zajlik napjainkban is, bár ezekről kevés információ szivárog ki a közéletbe. Ez is egy olyan terület, ahol az autonóm eszközök alkalmazása minőségi előrelépést jelenthet, részben az eddig alkalmazott emberi erőforrások jelentős részének kiváltásával, részben a meglévő rendszerek hatékonyságának fokozásával. Olyan szintű támogatásokat fognak tudni biztosítani ezek az eszközök, melyek a későbbiek folyamán teljes mértékben újradefiniálhatják a logisztikát, legyen szó annak bármely területéről. [1]

A drónipar közelmúltban végbement rohamos fejlődésének köszönhetően olyan eszközök állnak a rendelkezésünkre, melyek jelenlegi logisztikai rendszerekbe történő megfelelő integrálásában rendkívül nagy potenciál rejlik. Számos gyártó olyan eszközöket hoz forgalomba, melyek programozhatók, taníthatók, sőt akár önálló döntéshozatalra bírhatók így alkalmazásuk a logisztika minden területén elképzelhető a közeljövőben. A logisztika interdiszciplináris jellege miatt azonban természetesen nagymértékben különböznek a drónnal szemben támasztott követelmények, így cél megtalálni azokat a területeket, ahol a lehető leghatékonyabban tudnánk integrálni a drónokat a már meglévő folyamatokba, illetve, hogy milyen módon és milyen más rendszerelemekkel tudnánk alkalmazni ezeket az autonóm eszközöket.



1. ábra: Drónok sokoldalú alkalmazhatósága

(forrás: <https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/images/text-generic-1592x896/glo-trend-research-uav.jpg>)

A drónok logisztikában történő alkalmazásának tekintetében a lehető legtöbb, rendelkezésre álló forrást feldolgoztuk, és arra a következtetésre jutottunk, hogy a drónoknak mindenképp helye van a logisztikában, de leginkább az olyan logisztikai alkalmazások jöhetnek szóba, ahol teher nélkül kell dolgozniuk, figyelembe véve az akkumulátoraik jelenlegi kapacitását, illetve teherbírásukat. Nagy lehetőségeket rejt magában az **intralogisztika**, hiszen ez az a terület, ahol szerintünk a lehető leghatékonyabban lehetne integrálni a drónokat a meglévő rendszerekben. Ez rendkívül sok kérdést vet fel ugyanakkor, melyeket meg kell válaszolni, utána kell járni a felmerülő akadályok lehetséges megoldásainak. Az intralogisztikai alkalmazásokon belül a mintavételes munkanapfelvétel az egyik olyan tevékenység, melyben rendkívül nagy előrelépés lenne a drónok általi támogatás, és ahhoz, hogy ezt be tudjuk bizonyítani, fel kell építeni egy virtuális környezetben az egész, általunk elképzelt rendszert, majd ezt egy fizikai mintarendszerben szükséges validálni. A dolgozat egy ilyen mintarendszer kiépítésére fókuszál, melyben automatikusan zajlana az üzemben, üzemrészben dolgozó operátorok, eszközök, gépek, berendezések megfigyelése. A logisztikában ezen a mintavételezésen alapuló megfigyelést más néven mintavételes munkanapfelvételnek hívják, és a dolgozat ennek automatizálásával foglalkozik drónok segítségével.

A teljes rendszertervet követően bemutatásra kerülnek a különböző alrendszerek, ezt követően pedig az ehhez szükséges rendszerelemek, tehát a rendszer teljes architektúrája, illetve ezek közös működésének alapelvei, és a velük szemben támasztott követelmények.

A mintarendszer felépítését követően egy összehasonlító költség-elemzéssel szemléltetjük, hogy mennyivel hatékonyabb, illetve olcsóbb a drónokkal végzett mintavételes munkanapfelvétel a jelenleg alkalmazott hagyományos, emberi erőforrásokkal végzett alternatívával szemben.

2 Drónok a logisztikában, lehetséges alkalmazások

Az alábbiakban bemutatjuk a drónok szakirodalomban és a nemzetközi gyakorlatban leggyakrabban előforduló alkalmazásait a logisztikán belül, részletesen ismertetve a dolgozatunk témájaként szolgáló mintavételes munkanapfelvételt.

Elsősorban olyan területeket érdemes vizsgálni, ahol a drónok alkalmazása, integrálása vagy rendkívül nagy előrelépést jelent hatékonyság szempontjából, vagy pedig olyan mértékű emberi erőforrást tudunk velük kiváltani, ami hosszú távon sokkal gazdaságosabb lehet. Mivel ezeket az eszközöket bizonyos mértékig fel tudjuk ruházni intelligenciával, olyan feladatokat is bízhatunk rájuk, ahol valamilyen (kisebb komplexitású) döntést is kell hozniuk. A teljes mértékű döntéshozatalt nem bízhatjuk egy eszköz számára, egyik területen sem tudjuk teljes mértékben helyettesíteni az emberi erőforrást az autonóm drónokkal. Akármekkora szabad teret nyújtanak a gyártók a testreszabást illetően, az emberi erőforrás esetében mindig ott lesz a felelősségteljes döntéshozó képesség, a humán intelligencia, aminek helyettesítése napjainkban elképzelhetetlen nem csak a logisztikában alkalmazható autonóm eszközök esetében, de minden más területen is. Semmiképpen sem szabad olyan döntés elé állítani ezeket az eszközöket, melyek bármilyen mértékben is veszélyeztethetik valaki biztonságát. Minden területen számos olyan komplex feladattal találkozik az ember, ahol a teljes döntéshozatalt nem meri egy gépre bízni, akármennyire intelligens is. A humán intelligencia semmilyen módon nem helyettesíthető napjaink technológiai alkalmazásaival, korszerű eszközökkel. A következőkben azok a területek kerülnek bemutatásra, melyek ezeknek a kritériumoknak megfelelnek, ahol olyan feladatokkal találkozunk, ahol kisebb a felelősség, ezért ezeket a feladatokat bátran rábízhatjuk egy autonóm eszközre, akár teljesen automatizált keretek között is.

2.1 Leltár

A leltározás pontosan azon alkalmazási lehetőségek egyike, ahol az emberi erőforrást tudnánk kiváltani kockázatmentesen, valamint a feladatot is sokkal hatékonyabban, gyorsabban tudnánk végrehajtani autonóm eszközök segítségével.

Ebben az esetben a raktárban az egyes rakatokat olyan módon kell tárolni, hogy a közlekedő folyosókra merőlegesen láthatók legyenek a rakatokhoz tartozó azonosító címkék, vonalkódok, vagy egyéb más azonosító eszközök, melyeket a drón anélkül le tud olvasni, hogy magába az állványszerkezetbe be kellene repülnie. Ebben az esetben tehát

az útvonalak nem változnának a hagyományos leltározáshoz képest, csak annyi lenne a különbség, hogy vertikálisan is tudnánk alkalmazni az egyes drónokat minden egyéb komplikáció nélkül.

Az eszközzel kapcsolatos kritériumok sokkal kritikusabbak, ugyanis nem elég megtalálni a megfelelő eszközt, a megfelelő testreszabhatóság mellett, fel kell szerelni egy olyan leolvasó berendezéssel, mely le tudja olvasni az egységgrakományra helyezett azonosítót. Más, képi feldolgozás esetén pedig egy megfelelő minőségű kamerát kellene a fedélzetre szerelni, illetve nem elhanyagolható a drónt irányító algoritmus sem.

Mivel egy raktárban általában több ezer darab egységgrakományt tárolnak, szinte biztos, hogy nem elegendő egyetlen drónt alkalmazni. Egyszerre, párhuzamosan többet is kellene, tehát rajban kellene röptetnünk a drónokat olyan módon, hogy minden egyes drón olyan egységgrakományt ellenőrizzen le, amit még egy másik társa nem tett meg, illetve fontos azt is biztosítani, hogy a közlekedő folyosókon való haladás, illetve a folyosó váltások esetén semmilyen módon se ütközzenek össze.



2. ábra: Eyesee Drón leltározás
(forrás: <https://eyesee-drone.com/>)

Ez a feladat azonban ma már megoldott, az Eyesee vállalat például sikeresen megvalósította a drónokkal történő leltározást. Ehhez saját építésű drónt alkalmaznak, melynek fedélzetén több szenzor is található, és az egyes palettákon szereplő, speciális azonosító címkéket beolvassa, és a rajta lévő információt egy adatbázisba rögzíti.

Saját fejlesztésű szoftverrel is rendelkezik a vállalat, a raktári operátorok egy tabletről egyszerűen el tudják indítani a drónt, sőt, a rajban röptetési probléma is megoldott, hiszen

egy folyosóban egyszerre több drón is tudja végezni a beolvasást. Úgy lett kialakítva a rendszert irányító algoritmus, hogy minden egyes drón a beolvasott egység rakományt követően egy olyan újabb egység rakományt keres, melyet nem olvasott még be másik drón, valamint nem is tart felé egy másik társa, ezzel tehát elkerüljük a többszöri, felesleges adatrögzítést.



3. ábra: 34.000 rakodólapnyi lokáció ellenőrzése humán erőforrással és drónnal
(forrás: <https://eyeseedrone.com/#post-18>)

Már itt megmutatkozik a drónok alkalmazásának legnagyobb előnye, a **humán erőforrás felszabadítása**. Az Eyesee vállalat által készített statisztika szerint (**3. ábra**) egy 34.000 férőhelyes terület ellenőrzése drónokkal sokkal hatékonyabb, a szükséges idő kevesebb, mint az ötödére csökkent, ugyanennyivel kevesebb humán operátorra van szükség, és természetesen a hagyományos leltározáshoz szükséges emelőeszközökre sincsen szükség. [3]

2.2 Kommissiózás

Kommissiózás esetében szintén az emberi erőforrást szeretnénk kiváltani intelligens eszközök alkalmazásával. Ez esetben a homogén rakatokból az inhomogén rakatokat drónok állítanak össze. A drónokat itt egy olyan megfogószerkezettel, konzollal kellene felszerelni, amely képes stabilan megfogni az árut. Itt szintén fontos lehet a képfelismerés útján történő alkalmazás, hiszen az inhomogén rakat előállításánál során nem csak egyféle terméket kell megkülönböztetnie a drónoknak, valamint ebben az esetben is probléma a rajban röptetés, hiszen itt is több drón dolgozna együtt egy közös légtérben, és itt is

biztosítani kell azt, hogy ne ütközzenek össze sem egymással, sem egyéb térbeli akadállyal.

A megoldásban lévő elméleti potenciál a kommissiózás esetében is jelentős, azonban itt is számos olyan tényező van, melyek jelenleg még megnehezítik ennek az alkalmazásnak a megvalósítását. Az első, és az egyik legfontosabb, hogy olyan megfogószerkezetet kellene a drónra szerelni, amely inhomogén áruk esetében is képes mindegyik típusú csomagolásban lévő terméket stabilan megfogni, rögzíteni, illetve ezzel összefüggésben olyan drónokra is szükség van, melyek akkumulátorának kapacitása, illetve teherbírása lehetővé teszi a hosszabb időtartamú működést. Napjainkban a drónok pár kilogrammnyi tömeget képesek szállítani a saját tömegükön kívül, valamint alig fél órán át képesek hatékonyan működni, hiszen nem tesz lehetővé számukra hosszabb működési időt az akkumulátoruk. Ezeknek az akadályoknak a figyelembevételével tehát ezen a területen egyelőre leginkább a jelenlegi folyamatok kiegészítésére mutatkozik lehetőség, ezáltal az elérhető hatékonyságnövelés korlátozott. A kommissiózás is egy olyan folyamat, ahol szinte nélkülözhetetlen a humán intelligencia, hiszen sokszor nagyon kényes árukat kell kezelni, nem mindegy, mit, hogyan fogunk meg, és jelenleg semmilyen megfogószerkezetet nem tudja elég jól megközelíteni az emberi kezét gondolva itt többek között az érzékenységre, valamint a kialakításra.



4. ábra: Kommissiózás drónokkal

(forrás: <https://media.licdn.com/mpr/mpr/AAEAAQAAAAAAAAz-AAAAJDlkNmI4OGZjLTFkZTktNGQyOC1hMzhhLWY0NWE1MDI4YTJjMQ.jpg>, saját szerkesztés)

A **4. ábra** is jól mutatja, hogy egy kommissiózó területen drónok dinamikus mozgatása, azokkal történő operáció, inhomogén egységgrakományok képzése leginkább a technológiai korlátok miatt nem lenne hatékony megoldás, ugyanakkor fontos figyelembe venni, hogy a kommissiózásra számos más, gyakorlatban is kipróbált, remekül működő megoldás van jelenleg is a piacon.

Ugyanakkor nagy vetélytársként tekinthetünk a manapság egyre inkább népszerű, nagy fejlődésnek örvendő portálrobotoknak. Ezek helyhez kötöttek, nagy területet igényelnek, viszont heterogén áruösszetétel esetén is hatékonyan alkalmazhatók, nem okoz gondot a teherbírás, illetve az akkumulátor problémákat is kiküszöböltnek vehetjük. Negatívumként hozható fel, hogy egy ilyen portálrobot esetén egy folyamatos működésű szállítógépet kell kiépíteni köré, amiről lehetősége van leszedni az árut, illetve elhelyezni azt egy inhomogén egységgrakományra [4]. Így tehát ezen a területen a drónok alkalmazása nem lenne kifizetődő, sokkal hatékonyabb, jobban működő megoldások léteznek már.

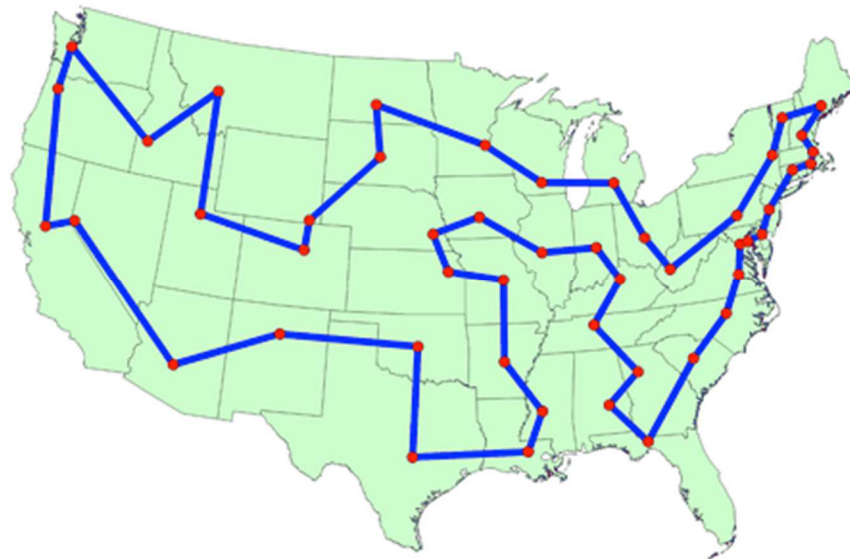
2.3 Kiszállítás

Kiszállításnál elméletben sokkal nagyobb térférési lehetőségei vannak a drónoknak a kommissiózással ellentétben, hiszen itt nem beltéri alkalmazásról van szó, sokkal több típusú eszköz is szóba jöhet, hiszen a méret nem kulcsfontosságú tényező. Egyszerűen megfogalmazva ebben az esetben nem egy jármű és a sofőr végezné a megrendelt küldemények kézbesítését, hanem egy autonóm drón juttatná el a címzetthez azokat GPS koordináták alapján. Ezt akár mesterséges intelligenciával felruházott drónokkal is végezhetnénk, modern képfelismerő algoritmusok segítségével, és sok egyéb integrált érzékelők tudnák támogatni ezt a megoldást. Hozzá kell tenni, hogy rengetegen foglalkoztak ezen a területen a kamera képén keresztüli útfelismerésen túl a rajban röptetéssel is. [5],[6],[7]

Ebben az esetben azonban még a kommissiózási alkalmazásnál megfogalmazottakhoz képest is nagyobb problémát jelent a drónok akkumulátorainak kapacitása, illetve azok teherbírása. Mivel csak pár plusz kilogramm szállítására képesek, ezért a küldeményeknek csak egy bizonyos része tenne eleget ennek a kritériumnak, lesznek olyan küldemények, melyeket képtelenség lenne kézbesíteni a napjainkban kapható drónok segítségével. [8]

Rengeteg tudományos dokumentáció van kültéri alkalmazásokról, többek között próbáltak olyan megoldásokkal is, hogy a drónra szerelt több kamerán keresztül próbáltak minél lefedettebb képet kapni a drón környezetéről, ezáltal megkönnyítve annak irányítását [9]. Többen is foglalkoztak korszerű algoritmusok megalkotásával annak érdekében, hogy a drónok képesek legyenek önszerveződő módon rajban repülni, tehát külső beavatkozás nélkül az adott körülményekhez képest mindig képesek felvenni az előre definiált alakzatot, és a parancsoknak megfelelően képesek is tartani azt. [10],[11]

A hagyományos TSP (Travelling Salesman Problem) esetében, azaz „utazóügynök-probléma” esetében fontos, hogy a kiszolgálni kívánt pontokat egy központból elindulva szolgáljuk ki, mindegyik pontot egyszer, és csakis egyszer érintjük úgy, hogy az utolsó kiszolgált pontot követően visszatérünk a depóba. Az FSTSP, illetve a PDSTSP ennek a problémának a továbbfejlesztése, kiegészítése drónokkal, melyet *Chase C Murray* és *Amanda G. Chu* fejtett ki bővebben a „*The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery*” című publikációjukban. [12]



5. ábra: TSP példa

(forrás:

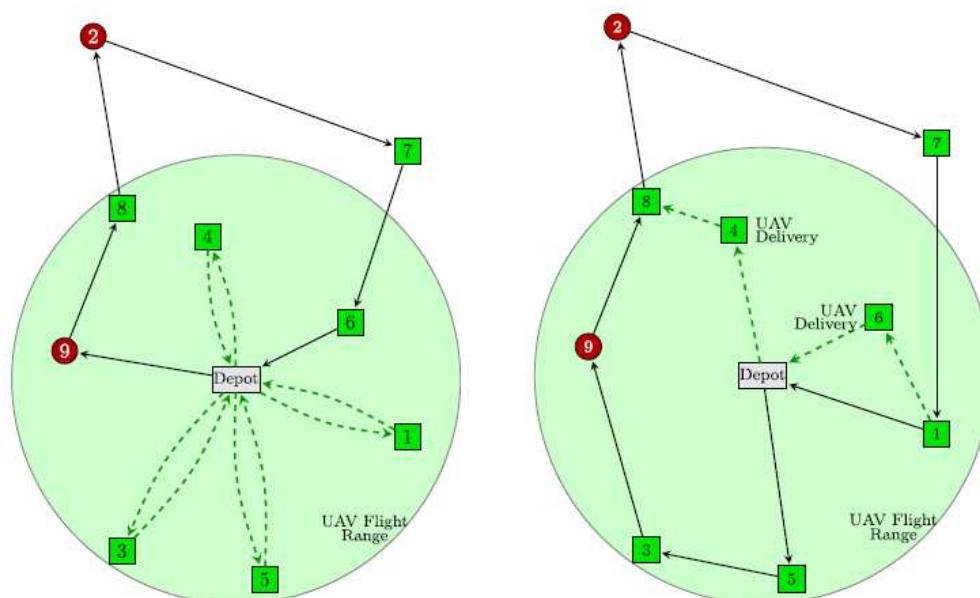
<https://optimization.mccormick.northwestern.edu/images/e/ea/48StatesTSP.png>)

Az FSTSP, azaz „Flying Sidekick Travelling Salesman Problem” esetében a drónokat kombinálnánk járművekkel, mégpedig úgy, hogy közös központból indítanánk el mindkettőt, viszont különböző igénypontok kielégítésére. A drón csupán olyan speciális küldeményeket lenne képes továbbítani, amit technológiai korlátai lehetővé

tesznek, ide sorolva például a térfogatot illetve a tömeget. A jármű számára előre definiált igénypontokból álló trajektória mentén kell haladnia, és ehhez kell hozzárendelni azokat a pontokat, amiket ki tudnánk szolgálni drónokkal.

Egyszerre indulnak el a központból, majd miután a drón elvégezte a rá bízott igény kielégítését, a jármű egyik soron következő kiszolgálási pontjára repül, ahol a jármű fedélzetén megtörténik a drón akkumulátorának töltése, illetve újabb küldeménnyel történő ellátása. Miután mindez megtörtént, érdemes a drónt egy olyan igényponthoz, indítani, amely kiszolgálása jelentősen megnövelné annak befutott úthosszát, tehát hatékonyabb lenne azt a pontot kielégíteni drónnal. Ez ismétlődik mindaddig, míg minden pontot meg nem látogattak, ezt követően a drón megnézi, hogy mi van hozzá közelebb, a központ, vagy a jármű. A távolság figyelembevételével tehát vagy a járműre tér vissza, vagy pedig a kiindulási ponthoz, azaz a központba.

A PDSTSP, azaz „Parallel Drone Scheduling Travelling Salesman Problem” pedig a drónok központhoz viszonyított hatótávolságot veszi figyelembe. Tehát meg kell vizsgálni, hogy az adott túrában szereplő igénypontok milyen távol vannak a központtól, és ennek megfelelően kell eldönteni, hogy kielégíthető-e az adott pont igénye drónnal. Amennyiben olyan pontok is vannak, amik ezen a hatósugáron kívülre esnek, úgy azokat mindenképp a jármű túrájában kell elhelyezni. Ebben az esetben minden egyes drón egy igényt elégítene ki, és ezt követően vissza is térne a központba. [12]



6. ábra: PDSTSP és FSTSP

(forrás: *Transportation Research: The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery*, www.sciencedirect.com)

Az, hogy melyik megoldás kiválasztása ideális egy adott szituációban, számos tényező figyelembevételével határozható meg. Ilyen például az igénypontok depóhoz képesti elhelyezkedése, a köztük lévő távolság, az igények jellege, földrajzi adottságok, és minden olyan környezeti hatás, mely meghatározó lehet a drón működtetését illetően.

Mindezek tükrében talán kijelenthető, hogy a drónok kiszállításban, extralogisztikai hálózatokban történő alkalmazásához nem áll rendelkezésünkre az a technológia, amely lehetővé tenné ennek a megoldásnak az univerzális alkalmazhatóságát. Gondoljunk ugyanis a küldeményekre, azok tömegére, az igénypontok, megrendelések térbeli, időbeli szórására. A drónoknak olyan szinten kellene univerzális szállítóeszközként funkcionálniuk, amit napjainkban valamint előreláthatóan a közeljövőben egyik gyártó sem tudna biztosítani, így ezt a megoldást a jelenlegi technológiai korlátok figyelembevételével még nem lehetne hatékonyan működtetni.

2.4 Mintavételes munkanapfelvétel

A mintavételes munkanapfelvétel [13] azoknak a méréses megoldásoknak az egyike, amelyet leggyakrabban alkalmaznak a különböző üzemi operációk vizsgálata során, legyen szó akár egy termelő üzembről, akár egy logisztikai létesítményről (pl. egy raktárról). A mérés és megfigyelés célja elsősorban az, hogy egy üzemben, vagy üzemrészben dolgozó operátorok, eszközök, gépek véletlen időközönként történő megfigyeléseivel statisztikai jellemzőket, mérőszámokat tudjunk megállapítani egy egész műszak munkaidő felhasználási arányaira nézve. Tipikusan egy ilyen mutatószám lehet az is, hogy egy targonca a munkaidejének mekkora részét tölti várakozással, munkavégzéssel, illetve, hogy mennyit áll munkavégzés, egyéb feladatra várás nélkül. Ezek a mérések sok esetben olyan konkrét megtakarítási lehetőségeket, szűk keresztmetszeteket fednek fel a vállalatok számára, melyek egyébként rejtve maradnának. Szemléletes példa, hogy kiderülhet, hogy 10 targonca helyett akár 8 is elég lenne ugyanannyi feladat elvégzésére, vagy éppen ellenkező módon a 10 targonca nem elég, az elvégzendő feladatok végrehajtására.

Alapesetben a mérés úgy néz ki, hogy vagy területalapon osztjuk fel az üzemet, vagy pedig egy-egy megfigyelő operátorhoz rendelünk hozzá bizonyos megfigyelni kívánt objektumokat, operátorokat, gépeket. Ehhez a vizsgálatokhoz tehát nagyszámú humán erőforrás szükséges, akiknek napi 8 órában nincs más dolguk, mint azt figyelni és rögzíteni, hogy mikor, melyik objektum mit csinált [14]. Ez tehát pontosan egy olyan

alkalmazási terület lehet a drónok számára, ahol nem kell sem kiemelkedően hosszú távolságokat megtenniük, sem pedig hatalmas tömegeket megmozgatniuk, csupán egy fedélzeti kamera szükséges ahhoz, hogy a feladatot hatékonyan el tudják végezni.

Így tehát a korábban felsorolt olyan területek közül, ahol leginkább úttörő lehet a drónok integrálása a már meglévő rendszerben, a már meglévő dróntechnológiai vívmányok korlátait is figyelembe véve, az a gyártósori alkalmazás, megfigyelés, mérés, itt ugyanis nincs szükség semmilyen megfogószerkezetre, érzékelőkre, nagy kapacitású akkumulátorra, és semmi olyan egyéb kiegészítőre, amelyekre szükségünk lenne kültéri alkalmazás esetén. Ennek ellenére itt is vannak hátráltató tényezők, akadályok, melyek megoldásra várnak, viszont feltételezhetjük, hogy egy ilyen rendszer kiépítéséhez minden technológiai eszköz a rendelkezésünkre áll, csupán megfelelően kell ezeket alkalmazni.

2.4.1 Mintavételes munkanapfelvétel menete

Ahhoz, hogy átlátható képet kapjunk arról, miért is lenne rendkívül hatékony automatizálni a mintavételes munkanapfelvételt, először vizsgáljuk meg, hogyan is zajlik egy ilyen mérés napjainkban, illetve melyek a céljai egy ilyen mérésnek.

Ezt a megfigyelési technikát meglévő rendszerek elemzésére használják olyan esetekben, amikor optimalizálni szeretnék a rendszer működését, megtalálni azokat a gyenge pontokat, ahol esetleg gyengébben teljesít az adott cég, vagy egyéb rejtett problémával állnak szemben. A vállalati fő folyamatokat, vagy a kiegészítő (pl. logisztikai) folyamatokat kiszolgáló fizikai rendszerek, mint például a termelési rendszer, a raktározási rendszer, különböző erőforrásokat használnak fel a benne definiált operatív szintű feladatok végrehajtásához. A feladatokat sok szempont alapján rendszerezhetjük, de a vállalati eredményesség szempontjából az egyik leginkább fontos osztályozás szerint a tevékenységek az alábbi csoportokba sorolhatók:

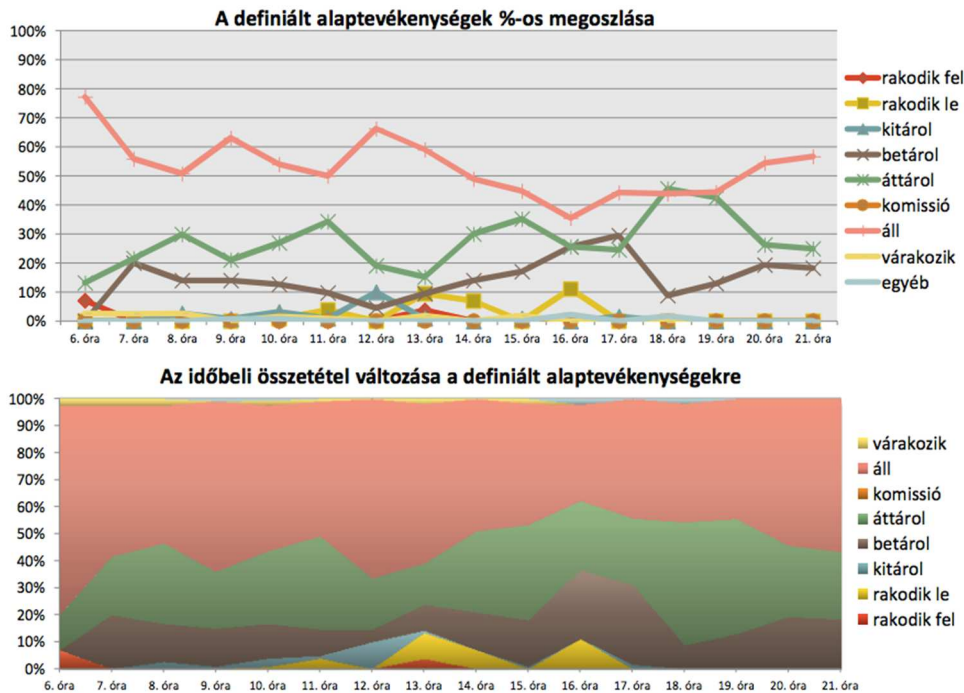
- értékteremtő tevékenység,
- szükséges, de nem eladható munka,
- veszteség.

Elmondható, hogy a rendszerekben az értékteremtő tevékenységek aránya általában a legkisebb, és felettébb nagy arányban vannak jelen olyan tevékenységek, melyek a veszteség kategóriáját gyarapítják. Tehát nem elhanyagolható időarányban olyan tevékenységeket végeznek az alkalmazott erőforrások, amelyek nem járulnak hozzá a

vevői igények kielégítéséhez, illetve akár az is előfordulhat, hogy egyáltalán nem is szükségesek. A szükséges, de nem eladható kategórián belül is vannak olyan tipikus tevékenységek, melyek a rendszer rosszul szervezett működését jelzik. Erre egy példa lehet a rejtett anyagmozgatás, amikor egy gyártósoron belül egy operátor a termeléshez szükséges valamilyen anyagot, alkatrészt úgy kényszerül mozgatni, hogy közben a munkavégzésnek kijelölt helyét el kell hagynia. A rejtett anyagmozgatás azonosítása és a rendszerszintű kiküszöbölése fontos cél, mert a fő folyamat időigényére jelentős mértékben káros befolyást gyakorolhatnak. A mintavételes munkanapfelvétel kiváló eszköz lehet ennek a jelenségnek a kimutatásában is. [15]

Mintavételes munkanapfelvétel során véletlenszerű időpontokban végzünk megfigyeléseket, ezzel vizsgálva a folyamat viselkedését, állapotait, és ezekből a mintavételezett jellemzőkből, adatokból vonunk le következtetéseket a teljes rendszer folyamatos viselkedésére. Ez tehát egy matematikai statisztikán alapuló eljárás, mely eljárások arra az alapfelvetésre épülnek, hogy kellően nagyszámú minta vizsgálata esetén egy teljes populáció viselkedésére, működésére vonatkozó, megalapozott következtetések vonhatók le. Ezt a tényt a matematikai alapelvek mellett a gyakorlati tapasztalat is igazolja. Természetesen a mintavételen alapuló következtetések mindig egy adott valószínűséggel, megbízhatósággal állítják, hogy a vizsgált paraméter várható értéke egy adott intervallumba esik. [16]

A mintavételes munkanapfelvétel esetén ez a vizsgálandó paraméter egy adott tevékenység előfordulásának részaránya. Ez egyben annak az időnek az aránya is, melyet a vizsgált erőforrások a produktív időalapjukból az adott tevékenység végzésére várhatóan fordítanak. A paraméter meghatározásához vett minta pedig megfigyelésekből áll: tehát valamilyen módon hozzájutunk ahhoz az információhoz, hogy a megfigyelés időpontjában az adott erőforrás az adott tevékenységet végezte. Fontos megemlíteni, hogy a megfigyelés során vizsgált erőforrások jellemzően általában többen vannak, például egy raktárban dolgozó targoncák összeségének megfigyelése zajlik egyszerre, amelyek egy nagyobb területen végzik a feladataikat, így ennek megvalósításához nagyszámú humán erőforrást kell igénybe vennünk, tehát a megfigyelt erőforrások száma arányos az ehhez szükséges megfigyelők számával. Ennek tükrében is belátható, hogy nagy jövő áll a drónokkal történő mintavételezés előtt, hiszen komoly erőforrást kell ráfordítanunk egy olyan feladat elvégzésére, amit egyébként gépekkel is el tudnánk végezni. [13],[16]



7. ábra: Példa mintavételes munkanapfelvétel eredményére, egy targonca tevékenységeinek megoszlása egy műszak alatt
(forrás: Dr. Bóna Krisztián: *Anyagmozgatási, raktározási folyamatok EA – Az RST folyamatok vizsgálata*)

2.4.2 Mintavételes munkanapfelvétel drónokkal

A hagyományos módszertan szerint a mérőszemélyek a véletlenszerű időpontokban elinduló körjáratok során mindig azonos sorrendben figyelik meg a különböző objektumokat, operátorokat, és a mérést megelőző oktatás során ismertett szabályoknak megfelelően rögzítik az egyes tevékenységek előfordulásait. Ezeket az információkat általában egy alkalmasan kialakított mérőlapra, kézi íróeszközzel rögzítik. Világosan látható, hogy lényegében olyan feladatokról, tevékenységekről beszélünk, melyeket a megfelelő eszközök és technológia birtokában minden további kockázat nélkül automatizálhatnánk. Egy ilyen mérés lefolytatása a megfigyelt folyamat jellegétől, nagyságától, térbeli kiterjedtségétől, illetve az objektumok számától függően komoly kiadásokkal járhat. Ez a jelentős kiadás azt eredményezi, hogy ilyen típusú méréseket szinte kizárólag egyszeri jelleggel, esetleg néhány alkalommal időközönként ismételve végeznek el a vállalatok, és a mérés eredményei alapján létrehozott változtatások újabb méréssel történő ellenőrzésére már nem feltétlenül kerül sor.

A mintavételes munkanapfelvétel drónokkal való támogatásának egyik legkézenfekvőbb előnye lehet tehát, hogy a rendszer kiépítése és telepítése után lényegében tetszőleges számú mérést lehet elvégezni tetszőleges, a felhasználó által

definiált időpontokban, amelynek a fajlagos bekerülési költsége is kedvező lehet. Ez a lehetőség nem csak ahhoz járulna hozzá, hogy gyakrabban lehetne ilyen méréseket végezni, hanem ahhoz is, hogy sokkal előbb fény derülne a kritikus keresztmetszetekre, amit sokkal előbb javítani tudnának a vállalatok, amelynek hatása a vállalati hatékonyság javulásában jelentkezhethet.

A hagyományos megfigyeléses mérések esetében továbbá a felvett adatok kiértékelésének fő nehézségét az is okozza, hogy az adatok a hagyományos mérések során papíron állnak elő, így ezeket az adatokat sokszor kézi erővel kell bevinni a számítógépbe (pl. Excelbe), hogy a kiértékelés elvégezhető legyen. Ez nem csak az emberi munka költségei és az időszükséglet növekedése miatt, hanem a járulékos hibalehetőségek miatt is problémát jelent.

A mérés drónokkal történő támogatása esetében nem szükséges mérőlapokat alkalmazni, mivel az adatrögzítés teljes mértékben automatizálható. Nem tartjuk továbbá teljesen utópisztikusnak azt sem, hogy pár éven belül képfelismerő algoritmusok segítségével automatikusan lehet majd azonosítani a megfigyelt objektumok által végzett előre definiált tevékenységeket. Ebben az esetben pedig már csak a kiértékelés során lenne szükség a humán intelligenciára. Erről bővebben az 5.1 fejezetben írunk.

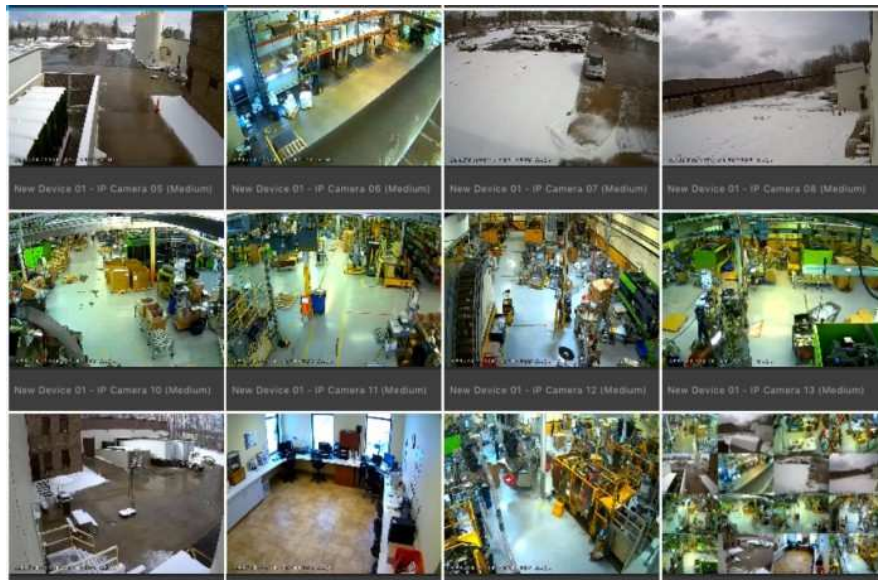
2.4.3 Egyéb alternatívák a mintavételes munkanapfelvétel támogatásában

Felmerülhet azonban a kérdés, hogy miért is tartjuk szerencsés megoldásnak a megfigyelési feladatokat drónokkal támogatni. Miért nem kombináljuk a humán erőforrás által végzett munkát bizonyos korszerű eszközökkel, megoldásokkal? Miért nem szerelünk fel minden olyan helyre kamerát, amellyel a teljes megfigyelt területen történő folyamatokat nyomon tudjuk követni? Vagy esetleg miért nem próbáljuk a megfigyeléses vizsgálatokat helyettesíteni a megfigyelni kívánt objektumok szenzorokkal való felszerelésével, és az azokból kinyert adatokkal?

Jó, és egyben könnyen elérhető megoldásnak tűnik, hogy a hagyományos mérési technológiát mobileszközökre fejlesztett alkalmazásokkal kombináljuk (például digitalizáljuk a méréshez szükséges mérőlapot) [17]. Látni kell azonban, hogy ez a céljainkat tekintve csupán részlegesen nyújt megoldást, ugyanis az alkalmazott erőforrásokat tekintve nem jelent jelentősebb megtakarítást. A mérésben foglalkoztatott dolgozók továbbra is jelentős fizikai terhelésnek lehetnek kitéve (gyaloglás a megfigyelt

objektumok követése során). Továbbá a járulékos fejlesztési költségek megtérülése is kevésbé lehet kedvező. Nem is beszélve arról, hogy továbbra is korlátokba ütközünk a lehetséges mérések és megfigyelések számát és azok reprodukálását tekintve.

A fixen telepített kamerák ötletében is kétségtelenül lehetnek potenciálok, azonban a rendszerben dinamikusan mozgó objektumok követése kapcsán merülnek fel nehezen megválaszolható, de kétségtelenül nem megoldhatatlan technológiai jellegű kérdések. A telepítendő kamerák számossága, fókuszáltsága, az objektum azonosítása, a beláthatóság komoly problémákat jelenthetnek, nem is beszélve arról, hogy egy-egy ilyen megoldás minden esetben egy adott üzem esetében tud hatékonyan működni, továbbvihetősége, adaptálhatósága nehézkes, mivel ahány üzem, annyiféle megoldás lehet célravezető. Egyúttal bár pontos elemzéseink nem állnak rendelkezésre, de a rendszer fajlagos költségeit és a megtérülést tekintve szintén komoly fenntartásaink vannak. [18]



8. ábra: Sundance LTD kamerás megfigyelés példa

(forrás: <http://sundanceltd.com/portfolio-view/ip-surveillance-system-manufacturing-facility/>)

Szintén komoly potenciált jelentenek a megfigyelt eszközökre felszerelt különböző szenzorok és a segítségükkel kinyerhető adatok, amelyekkel az objektum által végzett tevékenység beazonosítása támogatható. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy esetünkben nem feltétlen csupán gépek megfigyelését kell megvalósítani, hanem több esetben a rendszerben tevékenykedő emberi erőforrások által végzett tevékenységek is vizsgálандók. Nem is beszélve arról, hogy a tevékenység kellően pontos beazonosításához sokszor több szenzorból származó együttes információra lenne szükség, mi több, sok esetben nem kihagyható a képi információ sem. Kétségtelen, hogy

számos korszerű berendezés manapság már alapkiépítésében is rendelkezik különböző érzékelőkkel, és gyűjt adatokat az eszköz működéséről, de a logisztikai alkalmazásokat tekintve kijelenthető, hogy vélhetően további járulékos szenzor, vagy képi jellegű információkra lenne szükség a tevékenységek pontos beazonosításában. Ennek költségéről pontos információk nem állnak rendelkezésünkre, de fentiek miatt ezt a megoldást sem látjuk önmagában a megfelelő megoldásnak. [19]



9. ábra: Intelligens targonca

(forrás:

<https://i.pinimg.com/originals/9e/8c/e7/9e8ce7c15aa45e03b1f67e533d975c91.jpg>)

A voksunkat a lehetséges megoldások közül a drónok mellett helyeztük el, mert ebben látjuk jelenleg a legnagyobb, és talán a legkönnyebben elérhető kiaknázható potenciálokat. Ezt az irányt vizsgáljuk tehát tovább, de a jövőben azt gondoljuk, hogy a fentiek fuzionált alkalmazása, különböző hibrid jellegű alkalmazások formájában célravezető lehet. Ezekben egyúttal a drónoknak is komoly szerep juthat a jövőben.

2.5 IPAR 4.0, globális trendek

A logisztikát a következő [20] években várhatóan nagymértékben felforgatja majd az úgynevezett Ipar 4.0, másnéven a negyedik ipari forradalom. Ennek megtestesülése az ún. Smart Factory, amely a kiber-fizikai rendszerek (CPS), az Internet of Things (IoT) és az Internet of Services (IoS) előnyeit kombinálja majd. Ez összességében azt jelenti, hogy a fizikai rendszerelemek (tárolók, termékek, munkaállomások, kapcsolók, anyagmozgató eszközök) különböző szenzorok és tagek (pl.: RFID, MEMS 3) segítségével virtuálisan is le vannak képezve, és így hálózatba köthetők, ezáltal megalkotva az Industrial IoT-t. Mindez az IoS-be, azaz egy felhőben működő vállalatiirányítási rendszerbe (pl. SAP) van

integrálva, ami rendkívül sok fajta előnnyel jár majd a vállalkozások számára, de a mintavételes munkanapfelvétel szempontjából talán a legfontosabb a virtualizáció lehetősége. Ez azt jelenti, hogy az üzemről digitális másolat készül (digital twin), amiben valós idejű adatokkal nyomon követhetőek a folyamatok jellemzői, ezzel erősen kétségbe vonva a mintavételes munkanapfelvétel szükségességét.



10. ábra: Ipar 4.0

(forrás: http://www.funkschau.de/uploads/media_uploads/images/1448465417-101-mimi-potter-fotolia628x353.jpg)

Azonban fontos látni, hogy az Ipar 4.0 teljeskörű megvalósulásához nagyon sok mindennek kell még történnie, egy ilyen komplex rendszer rengeteg komponensből áll. A DHL 2016-os Trend Radar [21] című kiadványa nem is foglalkozik az Ipar 4.0-val ilyen formában, hanem a szükséges technológiai elemekkel külön-külön. Ezek közül vannak, amelyek széleskörű bevezetésére 5 éven belül látnak esélyt, például az IoT, az olcsó szenzortechnológiák, a Big Data, a felhőalapú infrastruktúra, azonban vannak amiket csak 5 éven túl tartanak reálisnak, például a dolgozók megfigyeléséhez szükséges bionikus technológiák. Ezek nélkül azonban csak eszközöket tudnánk megfigyelni, ami visszalépés lenne a hagyományos, „strigulázós” munkanapfelvételhez képest. Az Ipar 4.0 bevezetése óriási pénzügyi befektetést, elköteleződést igényel, amit a mintavételes munkanapfelvétel önmagában nem tud indokolni, így ennek csupán egy pozitív folyamánya lesz majd, de ehhez még egy-két évtizednek vélhetően el kell majd telni.

3 A tervezett rendszer felépítése, működése

Kicsit elvonatkoztatva a hagyományos mintavételes munkanapfelvételtől ki kell tűzni célul, hogy mit is szeretnénk elérni? Egy zárt térben, üzemszben repülő objektumokkal szeretnénk megfigyelni olyan ismeretlen, kiszámíthatatlan útvonalon mozgó objektumokat, melyek javarészt talajszinten végzik az operációt. Az épület adta korlátoktól elvonatkoztatva ezért térben fel kell osztanunk ezt a területet olyan módon, hogy ne akadályozhassa a megfigyelési folyamat a mindennapi munkavégzést a üzemszben dolgozó gépek, operátorok számára.



11. ábra: Rendszer működésének vázlata

(forrás: <https://img-new.cgtrader.com/items/746337/040858c0bd/3d-model-low-poly-warehouse-with-forklift-and-truck-3d-model-low-poly-max-obj-3ds-fbx-ma-mb-mtl.jpg>, saját szerkesztés)

A **11. ábrán** jól látszik, hogy miként is nézne ki az általunk elképzelt mintarendszer. Egyrészt szükség van meghatározott számú drónra, melyek száma a megfigyelt objektumok számának függvényében kerül meghatározásra, minden egyes rendszerre specializálva az adott változók, korlátozó tényezők függvényében. Ezek a drónok véletlen időközönként végeznék az adott objektum, operátor munkavégzésének megfigyelését egy adott dokkolóállomásról indulva, ahol a töltésükre is lehetőség lenne.

Ezért szükség van egy olyan beltéri lokalizációs rendszer felépítésére, mely független a GPS-től, valamint megfelelő gyakorisággal tudjuk az adatokat ebből a helymeghatározó rendszerből kinyerni, annak érdekében, hogy megvalósulhasson a valós idejű megfigyelés. Sok esetben nem egy statikus munkát végző objektumot kell megfigyelni,

hanem egy folyamatosan mozgó objektumot, mint például egy targoncát. Ebben az esetben a targonca pozíciója teljesen más lesz akkor, mikor a drón utolérte, illetve mikor elindult, éppen ezért biztosítani kell valamilyen módon, hogy a drón minden egyes időpillanatban tudja, hogy éppen hol helyezkedik el a térben az az objektum, melyet meg kell figyelni.

Ennek érdekében szükség van egy, a beltéri helymeghatározásra épülő jelkövető szabályozó létrehozására is, melynek biztosítaná, hogy minden körülmények között megtalálhassa, majd követhesse a drón a kívánt objektumot.

Szükség van továbbá egy központi számítógépre, melyen minden, a rendszerben keletkezett adat tárolása, illetve minden egyes rendszerelem irányítása történik, illetve ezen futhat az az alkalmazás, amellyel a drónok automatikus irányítását is meg lehet valósítani.

A mérési adatok elektronikus úton történő automatikus rögzítése után az adatok kiértékeléséhez már elegendő lehet egyetlen operátor is. A kiértékeléshez az adatbázisban tárolt képi információkat használjuk fel. Az felvett képi információk kiértékelését vagy utólag végezi el az operátor, vagy pedig a drónok segítségével, a megfelelő technológia birtokában elvileg az élőkép alapján történő kiértékelés is megoldhatónak tűnik. Ez komoly előrelépést jelenthet a vizsgálat humán erőforrás igénye szempontjából.

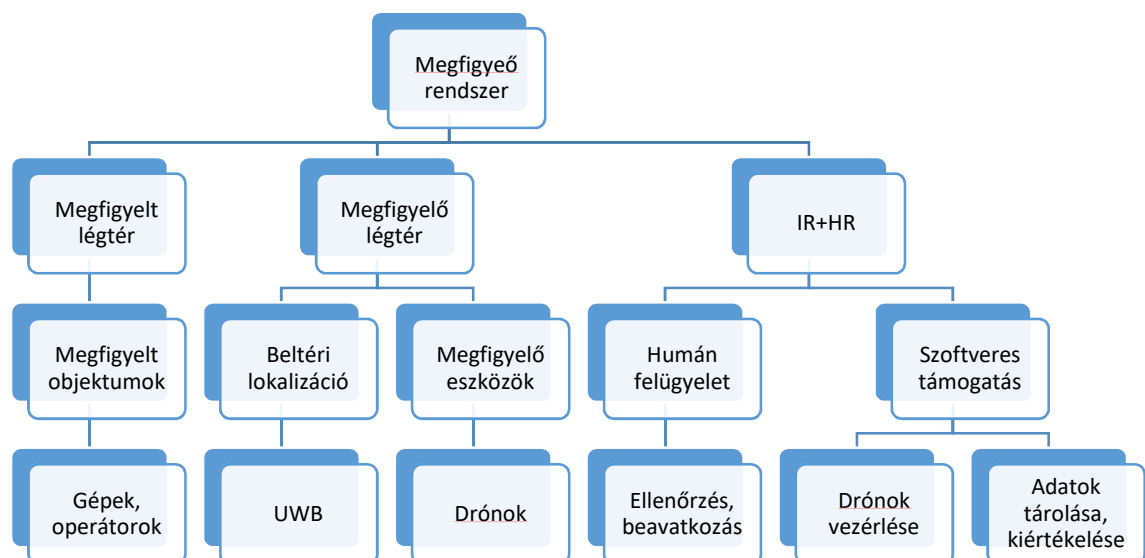
3.1 Rendszerelemek

A megfigyelés minden esetben beltérben, egy üzemben, vagy annak egy részében történik, tehát megfeleltethetjük ezt egy jól lehatárolható épület térfogatnak, ami a mintavételes munkanapfelvétel szempontjából érintett. Ezt a térfogatot két részre kell osztanunk: megfigyelő légtér, illetve megfigyelt légtér. A megfigyelő légtérben végzik a drónok az operációt, így kizárólag a megfigyelő légtér térfogatában operálhatnak. Ebben az esetben nem szabad, hogy akadálynak számítson semmilyen olyan tárgy, objektum, berendezés, ami az üzem részét képezi, tehát a drónok megfigyelés közben semmilyen módon nem lehetnek befolyással az üzem működésére. A drónok térbeli mozgásának csakis az épület adta fizikai akadályok szabhatnak határt, mint például az oszlopok. Ezeknek az oszlopoknak az elkerülését a jövőben biztosítani kell, mégpedig úgy, hogy a drón kellő időben érzékelje azt, és ennek megfelelően módosítsa útvonalát, tehát kerülje el az ütközést. Ennek megfelelő kiegészítő szenzorikus technológiák már léteznek [28].

A megfigyelt légtér az üzem, üzemrész, azon része, amiben a mozgó, mindennapi munkájukat végző operátorokat, gépeket szeretnénk megfigyelni mintavételesen, véletlenszerű időpontokban. Ennek célja a korábban leírtak szerint az, hogy egy átfogó képet kapjunk a teljes rendszer működésére vonatkozóan, elsősorban statisztikai jellemzők útján. A rendszernek ezt a részét nem áll módunkban befolyásolni semmilyen szinten sem, erre úgy kell tekintenünk, mint egy adottságra, és ehhez az adottsághoz kell hozzáigazítani az általunk elképzelt további alrendszereket, rendszerelemeket úgy, hogy a megfigyelést minél hatékonyabban el tudjuk végezni.

Fontos megemlíteni, hogy attól függetlenül, hogy a megfigyelés egy, a mindennapi üzemi feladatoktól jól elhatárolható légtérben zajlik, a drónokat csak és kizárólag talajszintről, vagy valamilyen dokkolóról tudjuk indítani. A korábban leírtak szerint a drónok jelenlegi akkumulátor kapacitása erősen korlátozott, így a véletlen időpontok között indított megfigyelések között szükséges azok töltése, tehát az üzem valamely területén egy olyan dokkoló telepítése szükséges, melyen az általunk működtetni kívánt összes drón elfér úgy, hogy közben lehetőség legyen feltölteni az akkumulátorukat akár automatikus töltési technológiák segítségével.

Ahhoz, hogy egy ilyen rendszerkoncepció működését biztosítani tudjuk, elengedhetetlen bizonyos komponensek megfelelő összehangolása, megfelelő módon történő integrációja illetve működtetése.



12. ábra: Rendszer működésének vázlata
(forrás: saját szerkesztés, MS Visio)

A **12. ábra** szemlélteti, milyen komponensekre van szükségünk egy ilyen rendszer felépítéséhez, a következő fejezetekben ennek részei kerülnek bemutatásra.

3.1.1 A megfelelő drón kiválasztása

Az egyik legfontosabb része a rendszernek az maga az eszköz, mellyel történne a megfigyelés, mérés, ugyanis számos kritériumnak kell eleget tennie, melyek a feladat szempontjából rendkívül nagy jelentőséggel bírnak. Természetesen – megfigyeléses vizsgálatról lévén szó – elengedhetetlen egy kamera alkalmazása. Ebből következik, hogy olyan eszközt kell választanunk, mely vagy gyárilag fel van szerelve egy kamerával, vagy további kiegészítőként vásárolható hozzá, melynek képét automatikusan továbbítja. Ellenkező esetben külön kell az eszközt kamerával felszerelni, és a kép továbbítását, rögzítését megoldani. Fontos követelmények a kamerával szemben a magas képminőség, a rögzített tevékenység egyértelmű megállapíthatósága érdekében, valamint a széles látószög. Fontos még, hogy lehetőség legyen minden olyan szenzor integrálására, melyek a rendszer szempontjából fontosak, ilyenek például az előforduló térbeli akadályok elkerüléséhez szükséges szenzorok, vagy például a helymeghatározáshoz, adatátvitelhez szükséges egyéb jeladók. Továbbá az egyik legmeghatározóbb szempontja az eszköz választásának a testreszabhatóság, programozhatóság. Itt ugyanis nem elengedő, ha egy előre telepített funkciót használunk, mint például a napjainkban egyre gyakrabban előforduló „Waypoint mission”, azaz mikor előre definiált pontokat repül be a drón, vagy a másik egyre népszerűbb előre installált funkció a „Hotpoint mission”, mikor egy meghatározott, fix pont fölött kering a drón. Az általunk kitűzött célok eléréséhez elengedhetetlen egy olyan eszköz, melyet intelligenciával tudunk felruházni, döntések elé tudjuk állítani, amit önállóan meg is tud hozni. Ez csakis úgy lehetséges, hogyha egy saját, a drón számára is olvasható programkódból történik annak irányítása, vezérlése, teljesen automatikusan, csupán a drón és a megfigyelt objektum koordinátáit használva inputként. Az ilyen kutatási célokra szánt, kereskedelmi forgalomban kapható drónok száma igen kevés, napjainkban ugyanis inkább olyan drónokra fókuszálnak, amiket filmezésre, hobbi célokra használnak.

Itt fontos megemlíteni a ROS-t, azaz Robot Operating System-et. Ez egy olyan, rugalmas keretek között működő, nyílt forráskódú rendszer, ami funkcióinak széles tárházával teszi lehetővé robotok, esetünkben drónok komplex feladatainak viszonylag egyszerű megvalósítását. Moduláris felépítésének köszönhetően csak azokat az

eszközöket kell használnunk, ami a feladatunk elvégzése céljából szükségszerű. Így ez egy olyan környezet, melyben korlátozott mértékű intelligenciával tudnánk felruházni a drónt [22].

A megfelelő drón kiválasztása érdekében kutatást végeztünk, így számos eszközt vizsgáltunk meg a fenti kritériumok szempontjából. A feladat szempontjából az optimális választás a DJI Matrice 100 típusú készülék lehet, melyet a gyártó kimondottan kutatási célokra fejlesztett ki [23]. Különböző SDK-k (Software Development Kit) állnak rendelkezésre a minél széleskörűbb alkalmazásokhoz:

Mobile SDK [25]: Androis illetve iOS operációs rendszerek alatt futó alkalmazás segítségével használhatjuk ki a drón funkcióit, mint például a korábban említett „Waypoint mission”, „Hotpoint mission”, illetve „Follow me”. A drón minden egyes szenzorának, érzékelőinek jele megjelenik az alkalmazásban, képet kapunk a drón aktuális állapotáról, teljeskörű felügyeletet biztosít számunkra a mobileszközön keresztül, valamint a fedélzetre szerelt kamerát is könnyen irányíthatjuk, videófelvételeket, fényképeket készíthetünk.



13. ábra: DJI Matrice 100

(forrás: https://product1.djicdn.com/uploads/photos/3521/medium_p1.jpg)

Onboard SDK: Irányítási és megfigyelési feladatokat tudunk ennek segítségével végezni. Több platformon működőképes, mint például Windows, Linux. Megvalósítható az automatikus fel, illetve leszállás, célrepülés, videófelvétel vezérlés. Rendkívül sok online elérhető mintaprogram segíti a feladatok elvégzését, így ezekre építve könnyen lehetőségünk nyílik egy komplex feladat létrehozására. Valamint az ehhez tartozó „ROS package”-k már tartalmaznak olyan újításokat, mint az ütközés-elkerülésre szolgáló modul, ami a „LIDAR” elnevezésű szenzort támogatja, illetve ez a rendszer egyelőre csak manuális kezelés esetén működőképes. [26]

Guidance SDK [27]: Ez az SDK a készülék teljes vizsgálatát, felügyeletét támogatja. Szintén Windows és Linux alapokon futtatható. Ezen keresztül lehetőségünk van például különböző szenzorok szolgáltatása eredmények ellenőrzésére, aktuális pozíció meghatározásra koordináták szerint.

A kívánt rendszer kivitelezése szempontjából tehát kijelenthető, hogy ez az eszköz lenne a lehető legalkalmasabb a kitűzött feladatok végrehajtására, beleértve a kívánt feladat komplexitását, hiszen bizonyos mértékig automatizálni tudnánk a működését. Működtetés közben ugyan az eszközön lévő firmware frissítésére, módosítására nincs lehetőség, azonban a rajta futó programkód módosítása lehetséges.

A DJI Matrice azonban igen borsos árral rendelkezik, ezért először egy Parrot AR Drone 2.0-t szereztünk be a kidolgozott irányítási logika gyakorlati teszteléséhez. [28]



14. ábra: Parrot AR 2.0

(forrás:

https://www.parrot.com/us/sites/default/files/ar_drone_power_edition_orange.png)

A drón forgalmazója alapvetően hobbi felhasználókat céloz, azonban nagyon jó adottságai vannak, főleg a kb. 70.000 Ft-os árához viszonyítva. Az eszköz rendelkezik többek között saját processzorral, 1 GB RAM-al, Linux operációs rendszerrel, egy 720p HD kamerával, és számtalan szenzorral (gyorsulásmérő, ultrahang, giroszkóp, stb) melyek segítségével stabilizálni és irányítani is tudja saját magát. A drón létrehoz egy saját Wi-Fi hotspotot, melyre kapcsolódva könnyedén irányítható, sőt a rendkívül kiterjedt fejlesztői közösség által létrehozott magas szintű API-kon keresztül JavaScript-ben vagy a már említett ROS-ban is egyszerűen programozható [29]. Terveink szerint kiváló demonstrációs eszköz lesz az objektumkövetésre.

3.1.1.1 Beltéri lokalizáció

Mint az korábban említésre került, egy olyan beltéri helymeghatározó rendszerre van szükségünk, mely független a GPS jeltől, hiszen az épület szerkezetétől függően előfordul, hogy a GPS beltéren vagy egyáltalán nem működik, vagy pedig nem elég pontos. Egy ilyen rendszer működtetése során a lehető legpontosabb megoldást kell választanunk, hiszen egy drón röptetése egy zárt térben, ráadásul egy olyan helyen ahol munkavégzés folyik, nagyon veszélyes, éppen ezért minimális eltérést engedhetünk csak meg a helymeghatározásra vonatkozóan.

Az „infsoft” („smart connected locations”) nevezetű cég számos lehetőséget kínál a beltéri, sőt, kimondottan logisztikai alkalmazásokhoz szükséges beltéri navigációhoz, helymeghatározáshoz. Ők már magát a szolgáltatást nyújtják, egyrészt biztosítják a helymeghatározáshoz szükséges hardver eszközöket, szenzorokat, „tag”-eket, valamint minden elképzelhető platformra szoftveres támogatást is nyújtanak, tehát akár mobiltelefonon keresztül is lehetőség van a rendszer használatára [30]. A következőkben a lehetséges beltéri helymeghatározást biztosító variációk kerülnek bemutatásra.

3.1.2 Wi-Fi

A Wi-Fi alapú beltéri helymeghatározást számos nagyobb vállalat alkalmazza, melynek fő oka: a már meglévő, kiépített hálózat. Manapság ugyanis egyre ritkább az olyan cég, melynek nincs saját Wi-Fi hálózata. Másik oka, hogy a beltéri helymeghatározás már akkor működésbe lép, mikor valaki csatlakozik az adott hálózathoz egy mobiltelefonon keresztül, így a telefon alapján meg tudják határozni a helyzetét. A legnagyobb hátránya, ami a feladat szempontjából ki is zárja ezt a variációt az a pontosság, ugyanis az csupán 5-15 méter közé tehető [31]. Egyértelmű, hogy ilyen pontosság mellett sem irányítani nem lehet a megfigyelő drónt, sem az objektum megfigyelését elvégezni.

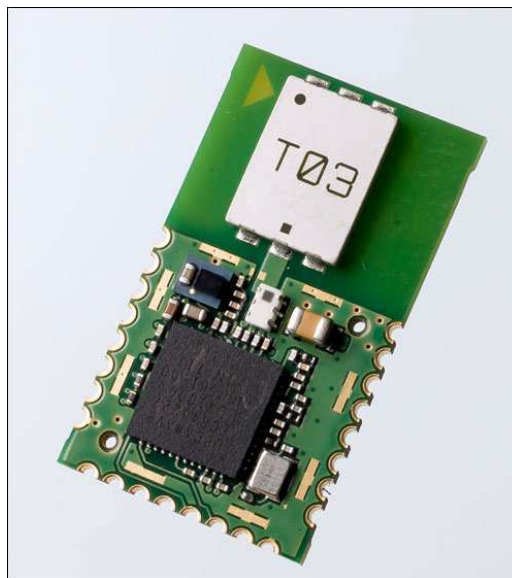
3.1.3 Bluetooth Low Energy (Beacons)

Beltéri navigáció úgynevezett „beacon”-ökkel, melyek közül a leggyakoribbak az iBeacon, illetve az Eddystone. Elsősorban olyan rendszereknél használják, ahol sok iOS alapú eszköz található, illetve elvárt a minél magasabb pontosság. Tipikusan ügyfél-alapú megoldásoknál alkalmazzák. Lehetővé teszi például a fedélzeti navigációt egy repülőn

anélkül, hogy más berendezést megzavarna, és 1 méteres pontossággal bírnak [31]. Mivel teljesen más területre van kalibrálva ez a megoldás, a feladat szempontjából ez sem a megfelelő alternatíva, illetve a pontosság sem megfelelő a számunkra.

3.1.4 Ultra-wideband technology (UWB) [32-42]

Ultra wideband, azaz ultraszéles-sávú távközlési technológia. Az információ továbbítását igen rövid impulzusok sorozatának formájában végzi el, illetve ezek az impulzusok az UWB sávszélességének egészét elfoglalják. Az a széles frekvenciasáv, melyet használ, nagy adatátviteli sebességet tesz lehetővé a számunkra. Mivel olyan impulzusokat használ az adat továbbítására, melyeket közvetlenül antennára tudjuk vezetni, ezért az UWB rendszert alkotó hardver elemek igen egyszerű felépítésűek, és ennek köszönhetően olcsón előállíthatók. Mivel a használt impulzusok nagyon keskenyek – ez az oka a nagy sávszélességnek – ezért a vevő nagy pontossággal szét tudja választani ezeket az impulzusokat, így a többutas terjedésből fakadó problémák nem jelentkeznek. Az impulzusok alacsony energiájának köszönhetően a megfelelően megvalósított technológia nem interferál a hagyományos rádiófrekvenciás eszközökkel. Radar és képalkotó célzatú alkalmazásoknál $(1..10) \cdot 10^6$ impulzus továbbítása történik másodpercenként, míg a kommunikációs rendszerekben $(1..2) \cdot 10^9$ másodpercenkénti impulzusszám a jellemző.



15. ábra: DecaWave UWB Active RFID modul
(<http://www.rfidjournal.com/lib/x/a/assets/2014/07/DecaWave-image-1-web.jpg>)

Az Egyesült Államokban érvényes Code of Federal Regulations 47. kötetének 15. szekciójának F alrésze foglalkozik az UWB technológiák meghatározásával és szabályzásával. Ez a §15.503 paragrafusában az UWB sáv szélességet a legnagyobb intenzitású kibocsátott sugárzáshoz képest 10 dB-el kisebb intenzitáson sugárzott frekvenciák között definiálja. Ezen frekvenciák számtani átlagaként adódik ki a középfrekvencia (center frequency). Ha a definiált sáv szélesség nagysága és a középfrekvencia hányadosa legalább 0,20 vagy a sáv szélesség nagysága legalább 500 MHz, UWB technológiáról beszélhetünk.

Az UWB technológiát használó berendezések hatályos magyar szabályozása szerint a megfelelő határértékek betartásával beltéri alkalmazás engedélyezett. A részletes szabályozást a Magyar Közlöny 2013. évi 3. számának 3.1. melléklete tartalmazza.[34]

A rádiók által kibocsátott jelek alapvetően a rálátásnak megfelelően terjednek, azonban a gyakorlatban a különböző objektumok eltérő elektromágneses tulajdonságai miatt visszaverődések keletkeznek, amelyeket a vevőkészülék érzékel, tehát az adó által küldött jel több különböző úton érkezik a vevőhöz, innen származik a jelenség neve is. Az antennán megjelenő egyes jelek összege lesz a vett jel, és ez torzulásokhoz, adatvesztéshez is vezethet. A forrás alapján, ha az adó vagy vevő mozog, illetve ha a többutas terjedést okozó, a rádióhullámokat visszaverő felület mozog, akkor az antennára eső jelek erőssége változni fog, ez erősíti a jelátvitel nehézségeit. Ez a drónok jelátvitelével kapcsolatos megfontolásokat is érintené, mert egy raktárban vagy üzemben található objektumok fém felülete az elektromágneses hullámok szempontjából erőteljesen visszaverő hatású.

Moe Z. Win és Robert A. Scholtz arra világít rá, hogy az UWB által kibocsátott jelek többutas terjedése során nem következik be a „fading” jelensége, tehát a jelátvitel megbízható marad. Ezt azt állítást beltéri környezetben, egy irodaépület különböző pontjain kibocsátott, illetve felfogott jelek mérése segítségével igazolták.[36]

Anton Ledergerber, Michael Hamer és Raffaello D’Andrea az ETH Zürich Institute for Dynamic Systems and Control munkatársai a „A Robot Self-Localization System using One-Way Ultra-Wideband Communication” cikkben fix pontokon elhelyezett UWB jeladók segítségével történő lokalizációs eljárás algoritmizálásának alapjait fektették le, illetve egy UAV segítségével a módszer pontosságát tesztelték (mozgóképpel használatával történő helymeghatározáshoz képest).[38]

A módszer decentralizáltan működik, tehát az egyes „tag”-ek saját maguk határozzák meg a pozíciójukat. Emellett egyirányú a kommunikáció, tehát csak a fix

pontok (melyeket „anchor”-nak neveznek) küldenek jeleket a robotok felé. Következésképp a rendszer fixen telepített része szempontjából mindegy a saját helyüket meghatározni kívánó robotok száma, nem változik a frissítési gyakoriság.

Két féle algoritmust fogalmaztak meg: TOA (Time of Arrival) és TDOA (Time Difference of Arrival) típusú algoritmusok egyaránt alkalmazhatóak.

Az első, TOA algoritmus lényege, hogy a távolság számításához a jelterjedési időt veszik figyelembe. A jelterjedési időt befolyásolja a robot pozíciója, az anchor pozíciója, ahonnan a jelet kapta, a mérésből és az átvitelből eredő zajhatás, illetve a robot órájának eltérése a valós időhöz képest. Ez utóbbi tényező miatt a robot és az anchor órája szinkronizálva kell, hogy legyen, ami bonyolultabbá teszi a megvalósítást, de pontosabb mérést jelenthet.

A TDOA algoritmusok két különböző anchor felől érkező jelek jelterjedési idejének különbségét használják fel a lokalizációhoz. Ez kiküszöböli a használt összefüggésekből az órák eltérését, de két különböző mérés, illetve átvitel zaja is befolyásolja a számítást, melyre ügyelni kell – azonban a TDOA alapon működő rendszer implementációja még emellett is egyszerűbb.

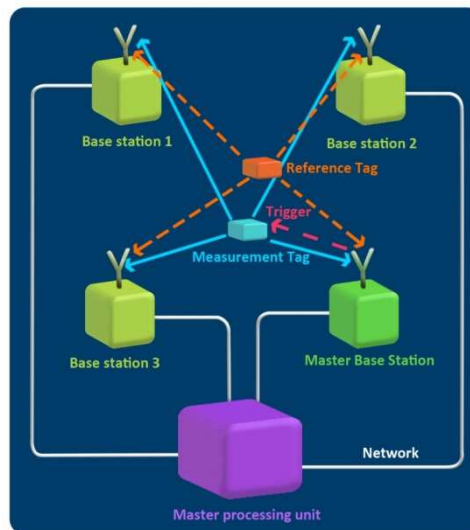
A TOA és TDOA alapelvekre, és gyakorlati megállapításokra építve meghatározzák a számításhoz szükséges algoritmus alapjait is. Ennek első lépése az órák modellezése, melyből a legfontosabb az eltérés meghatározása: egy kezdő időpillanatbeli offset ismeretét feltételezve, egy órajel-elcsúszási tényező segítségével fejezik ki az eltérést. Az algoritmus működésének másik alapfeltétele, hogy az anchor órái szinkronizálva legyenek. Ehhez szükséges a 0. anchornál történő jeladás és az adott anchornál a jel vétele közti időkülönbség ismerete minden anchorra nézve. Emellett két, a 0. anchor által adott időeltéréssel kibocsátott jel küldési és érkezési időbélyegeiből az anchorok számítani tudják saját órajelük elcsúszását. Ezek ismeretében a szinkronizálás megoldható.

A használt algoritmustól függően a jelek küldési és fogadási időbélyegei segítségével történhet meg a jelterjedési idők, vagy azok különbségének számítása. A kétdimenziós helymeghatározáshoz legalább két TDOA alapján végzett mérést, vagy legalább három TOA alapján végzett mérés szükséges.

A pontosságot adott kísérleti elrendezésben vizsgálták, mely során a megfigyelendő objektum az egyik anchor körül körözött. A körpályán mozgó objektumot leíró szöghelyzet függvényében változott a mérés pontossága, melyet részben az UWB antennák nem izotróp, azaz iránytól nem független sugárzása okozott. Ezt kiegészíti az

érzékenység vizsgálatánál megfogalmazott állítás, miszerint az anchorok által közrefogott alakzatban a lokalizáció lényegesen pontosabb. A mérésnél a viszonyítási alapot a Flying Machine Arena motion capture elven működő rendszere szolgáltatta. A kísérleti eredmények hatására elvégezték a rendszer UAV-ba történő integrációját is, és valós időben működtetve azt, újabb kísérletet végeztek el. Ebben az esetben a vertikális („z”) irányú lokalizáció gyengébbnek bizonyult az x és y tengelyek irányához képest.

Beszélhetünk egy másik megoldásról is, ahol a helymeghatározás kétirányú kommunikációra épül. Egy fő, vagy „mester” anchor ellenőrző jelet küld az objektumokat azonosító tag-ek felé, amelyektől választ vár. A választ adó tag-ek regisztrációja megtörténik, a többi „tagságát” törli, azaz az algoritmus további szakaszaiban nem foglalkozik velük. A bemérési szakasz során kommunikáció csak a regisztrált tag-ek irányába történik, így nincs az inaktív tag-ek irányába időráfordítás. Mivel a regisztráció adott számú bemérési ciklus után újra megtörténik, ezért a rendszerben jelen lévő tag-ek száma változhat, a megjelenő új tag lokalizációja is megkezdődik. Ez a fajta megoldás a centralizált infrastruktúrával történő helymeghatározás ciklusidejének csökkentésében játszik szerepet (azért, mert az USB kommunikációnál a csatornák kiosztása nem frekvencia, hanem időalapon történik).



16. ábra: UWB működési elve

(forrás: <https://www.intechopen.com/source/html/17467/media/image1.jpeg>)

Összegezve tehát a főbb **előnyei**:

- széles frekvenciasávot használ, ami **nagy adatátviteli-sebességet** tesz lehetővé

- mivel az UWB impulzusokat használ a kommunikáció megvalósítására, amelyeket közvetlenül az antennára lehet vezetni, ezért az UWB készülékek egyszerűek, és **így olcsón előállíthatók**
- mivel az UWB által használt impulzusok nagyon keskenyek – ez okozza egyébként a nagy sávszélességet is – ezért a vevő nagy pontossággal szét tudja választani az egyes impulzusokat, így a **többutas terjedésből fakadó problémák nem jelentkeznek**
- az UWB egyaránt alkalmas **precíz helymeghatározásra** és nagysebességű adatátvitelre.

Ez a beltéri lokalizációs technológia működhetne drónok esetében is, ezen a rendszeren keresztül lehetőség nyílna a drónok irányítására, vezérlésére, amennyiben megfelelő gyakorisággal tudnánk hozzájutni a pontos adatokhoz, ami azt jelenti, hogy a másodperc törtrésze alatt kellene kiolvasnunk a helyzetadatokat, és ezek alapján utasítást adni a drónnak. Pontosán ezért, mikor megtörténik a drónt vezérlő algoritmus elkészítése, célszerű lenne a helyzetadatokra bevezetni bizonyos változókat, és a változók értékének mindig a legfrissebb adatokat feleltetnénk meg, tehát közvetlenül a koordinátákat tároló adatbázisból történne a változóknak való értékadás.

Ezt követően azt kell megoldani, hogy ez a lokalizációs rendszer, az UWB hogyan s miként tud kommunikálni egy asztali számítógéppel, mely segítségével vezérelni tudnánk a rendszert.

3.1.5 Informatikai, hálózati architektúra

Szükség van egy olyan „irányítóközpont” melyekkel az előbb említett két rendszerelemet felügyelni, működtetni tudjuk. Ez egyrészt a drónok irányítását jelenti az egyes objektum-drón relációkban azok mindenkori pozíciója alapján, másrészt a megfigyelt és megfigyelő objektumok összepárosítását. Ugyanis amikor letelik egy objektum megfigyelési időtartama, akkor meg kell tudnunk mondani a drónnak, hogy hazatérjen, vagy keressen fel egy következő objektumot. Ez természetesen a mintavételes munkanapfelvétel pillanatbeli állásának, az eszközök térbeli relációinak valamint a drón töltöttségi állapotának a függvénye.

Az informatikai architektúra másik feladata a beltéri lokalizációs rendszer által begyűjtött lokalizációs adatok, valamint a drónok képfolyamának rögzítése – utóbbiak esetében akár élő közvetítése is a mérési eredményeket rögzítő személy felé.

Minden korábban leírt feladat adatok átvitelét jelenti bizonyos rendszerelemek között, ezért egy robosztus és gyors hálózati architektúrát is biztosítani kell, melyen keresztül fogadni és továbbítani tudjuk a keletkezett adatokat, valamint ezen a hálózaton jön létre a kapcsolat az egyes rendszerelemek között.

Nem feledkezhetünk el az ehhez szükséges back-end és front-end szoftverekről sem. Előbbiek közé tartozik elsősorban maga az irányítási logika, az utóbbi pedig az adott megfigyelési feladat specifikálására, monitorozására, valamint hiba esetén közbeavatkozási lehetőség biztosítására szolgál. Ezen kívül szükség van egy grafikus felhasználói felületre (GUI) ahol a mérési eredményeket a felvételek alapján rögzítheti egy felhasználó.

3.1.6 Humán interfész

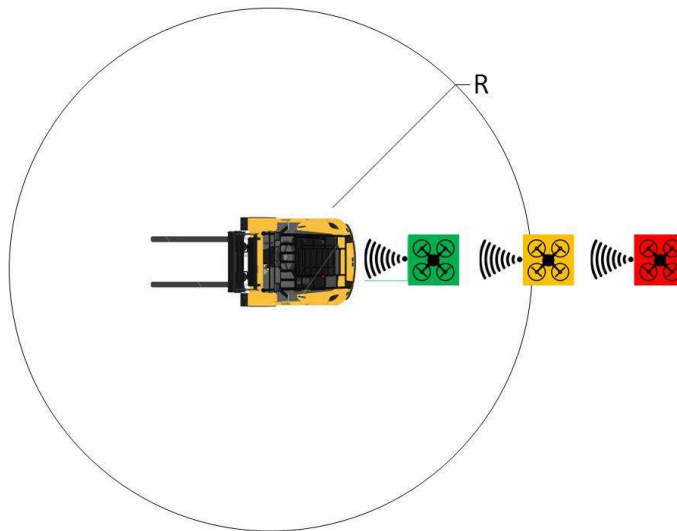
Elengedhetetlen marad a humán faktor, a humán intelligencia jelenléte. Ez nem azt jelenti, hogy bármilyen módon is humán erőforrást használnánk fel a működtetés során, ugyanis a feladat pont ezt tűzte ki célul, hogy a mintavételes munkanapfelvétel minnél kevesebb emberi munkával megvalósítható legyen. Azonban a legkorszerűbb automatizált rendszereknél is előfordulhat meghibásodás vagy olyan rendellenes működés, melyet csakis úgy tudunk korrigálni, ha beavatkozunk, ezért csak és kizárólag felügyeleti szerepben, de elengedhetetlen a humán jelenlét.

A rendszer működtetésén túl pedig szükség van humán erőforrás(ok)ra a felvételek elemzéséhez, valamint az eredmények kiértékeléséhez, azaz a teljes rendszert jellemző statisztikai kimutatás elkészítéséhez, amennyiben, a korábban említettekre hivatkozva, nem történne meg minden automatikusan, képfelismerés útján.

3.2 Követő szabályzó

Mint az a beltéri lokalizációs rendszernél is említésre került, számos esetben találkozhatunk olyan feladattal a mintavételes munkanapfelvétel során, mikor egy mozgó objektum munkafolyamatait kell megfigyelnünk. Hagyományos esetben ez nem okoz gondot, hiszen korlátozott mértékben távolról is lehetőségünk van felmérni, hogy éppen mit csinál az adott tárgyonca, vagy más anyagmozgató eszköz, esetleg operátor, azaz

konkretizálni tudjuk az éppen végzett folyamatát. Ahhoz, hogy mindezt drónnal készített videofelvételek alapján tudjuk megtenni, a drónra szerelt (lefele néző) kamera miatt mindig az objektum adott sugarú környezetén belül, afölött kell elhelyezkednünk. A korszerű, drónra szerelhető kamerák manapság olyan technológiákat képviselnek, melyek igen nagy felbontásban, látószögben tudnak felvételeket készíteni, így ez az elfogadható sugár akár 3 méterben is megállapítható.



17. ábra: Megfigyelés logikája
(forrás: saját szerkesztés, MS Visio)

A **17. ábra** jól szemlélteti az általunk elképzelt megfigyelési logikát, miszerint a drón csak egy bizonyos távolságon belül kezdi el magát a mintavételezést az objektum munkájának. Ekkor egy tetszőleges hosszúságú videófelvételt készítené, esetleg egy rövid animációt, de sok esetben egy fénykép, fényképsorozat is elegendő lehet ahhoz, hogy meg tudjuk határozni az objektum(ok) munkafolyamatait az egyes mintavételezési időközökben, ezzel egy teljes képet kapva a megfigyelt rendszerről.

Egy megfigyelési ciklust úgy lehetne elképzelni, hogy a drón, adott esetben drónok egy központi dokkolóállomásról (ahol egyébként történik a töltésük is) indulnának véletlen időközönként megfigyelni az objektumot, esetleg objektumokat. A feladat további részében a drónok illetve megfigyelt objektum száma közötti reláció vizsgálata is részletezésre kerül. Ezt követően a drón megkeresné a megfigyelni kívánt objektumot, adott sugarú környezetébe érve elvégezné a szükséges felvételek elkészítését, majd visszatérne a központi dokkolóállomásra. Ahhoz, hogy egy ilyen ciklust végre tudjunk hajtani, a következő adatokra van szükségünk:

- megfigyelt objektum mindenkori pozíciójára vonatkozó, trajektóriáját leíró koordináták
- a megfigyelő objektum, azaz a drón pozícióját meghatározó adatokra

Mindezt a már ismertetett beltéri lokalizációs rendszer szolgáltatná, a hozzá tartozó jeladókkal, tag-ekkel, központi feldolgozó egységgel, számítógéppel a megfelelő szoftverrel

3.2.1 A szükséges adatok a koordináláshoz

A tanszéki laborban telepítésre került egy UWB technológián alapuló lokalizációs rendszer, melyet az Optimized Mobile Technologies Laboratory biztosított. Az OMT CTO-jával, Fehér Gáborral a tanszéki laborban sikerült interjút készítenünk rendszer pontos működéséről, képességeiről, valamint költségvonzatáról. A fejezetben ez alapján ismertetjük a rendszert, mely a következő elemekből áll:

- **Minitag:** a kívánt objektumokra szükséges helyezni a pontos helyzet meghatározásához
- **Wall unit** (fali egység): ezek szükségesek a sugárzott jelek vételéhez, pontos helyzetadatok meghatározásához
- **Central unit** (központi egység): ez az egység végzi az órák összehangolását, illetve a számítások jelentős részét



18. ábra: Tanszéki laborban használható UWB tag
(forrás: saját forrás)

A tanszéki laborban 8 db fali egység került telepítésre, egyszerű ethernet kábelen keresztül, saját fejlesztésű porton vannak úgy szinkronizálva, hogy az óráik közötti eltérés kb. 100 pikoszekundum nagyságrendű. Saját kalibrációs metódus alapján történik ezen fali egységek óráinak az összehangolása. Az objektumon lévő minitag pozícióját mérik be ezek a fali egységek, melyek a GPS-re asszociálva a műholdak szerepét játsszák ebben a rendszerben. Ezek a minitag-ek sugározzák a jelet, melyeket a falon lévő egységek vesznek alapesetben, viszont ez tud visszafelé is működni, vagyis a fali egységek is képesek jelet sugározni. A laborban telepített rendszer pontossága 10 cm alá tehető.

Az ehhez szükséges számításokat egy megfelelő hardverrel felszerelt asztali számítógép végzi, mely adott esetben másodpercenként akár 200-300 pozíció számítására is képes. Létezik egy olyan tag is, mely másodpercenként 10 pozícióra vonatkozó adatsomag küldésére is képes, ami kifejezetten hasznos lehet az általunk elképzelt alkalmazás szempontjából. Ezek a számítási teljesítmények egy átlagos számítógép használata mellett érvényes, de az OMT a jelenlegi technológiai korlátok figyelembevételével másodpercenként 1000 pozícióra vonatkozó adatot tud garantálni. Összegezve tehát egy központi szerver végzi a pozíciókra vonatkozó adatok számítását.

A teljes rendszert maga az OMT fejlesztette, illetve építette ki úgy, hogy minden egyes részéhez a fejlesztés további fázisaiban is hozzá tudjanak férni. Mivel ez így adott esetben csak a helymeghatározáshoz elég, ahhoz, hogy ebből egy alkalmazást tudjunk kreálni, szükség van a rendszer finomhangolására, a konkrét feladathoz való testreszabására. Az OMT vállalkozik erre, segít beültetni a megoldását különböző alkalmazásokba úgy, hogy az adott rendszer működése optimális legyen, például előfordult már, hogy drón irányításához használták fel az UWB-n keresztül érkező helyadatokat.

A legújabb fejlesztésű mini-tag lényegében egy TCP kapcsolatot létesít, ahol szövegmezőkben jönnek a pozícióra vonatkozó adatok, vagyis egyszerű .txt kiterjesztésű fájlokban kapjuk a kiszámított adatokat. Bizonyos esetekben, ahol a 10 ms értékű késleltetés is problémás lehet, vállalják azt, hogy ennél lejjebb is tudnak menni, tehát 10 ms alatti késleltetéssel is tudunk dolgozni.

A drón helyzetének meghatározásához egy ilyen minitag alkalmazása lenne a legalkalmasabb, viszont figyelembe kell vennünk, hogy a plusz teher számottevő mértékben csökkenteni tudja a repülési időt. A minitag bruttó tömege 35 gramm, viszont a gyártó elmondása szerint ebből kb. 25-30 gramm a tokozás és az akkumulátor, ezért

kézenfekvőnek tűnik, hogy csupán a minitag áramkörét helyezzük el a drónon, (például a gyárilag telepített GPS chip helyén) és használjuk a drón saját áramforrását. A jeladó energiaigénye minimális, pár mWh, így szinte nem is veszítenénk a repülési időből.

A megfigyelni kívánt objektum helyzetének meghatározása teljesen azonos módon történhet: felszereljük őket egy-egy mini jeladóval, melyek segítségével a központi vezérlés képes meghatározni a helyzetüket. A **18. ábrán** ábrázolt mini-tag mérete megközelítőleg 5X5 cm, így ennek elhelyezése nem jelenthet gondot semmilyen gépen, valamint a megfigyelt, rendszerben tevékenykedő alkalmazottak is könnyen zsebre tehetik.

Az ily módon, külön forrásokból előálló pozícióadatokat egy központi vezérlés szintetizálná és használná fel a 3.1.5 fejezetben leírtak szerint.

Fontos megemlíteni, hogy ebben az esetben nincs közvetlen kommunikációs csatorna a megfigyelt objektum, illetve a drón között, viszont ezek a kis jeladók önmagukban kommunikációs eszközként is alkalmazhatóak, tehát tudnak üzenetet fogadni, illetve adni is egymás között. Ezen minitag-ek közötti, zavartalan kommunikáció kb. 100 méteres hatótávolságra becsülhető, a nagyobb tag hatótávolsága pedig 200 méter, viszont falakon keresztül nem igazán működik. Amennyiben lehetőség lenne a kommunikációt ilyen módon megteremteni az objektum, illetve a drón között, az rendkívül nagy előrelépést jelentene, hiszen ezzel időt spórolunk meg, ami a valós idejű követést tekintve kulcsfontosságú lehet, tehát amilyen gyorsan számol a rendszer, olyan gyorsan történik a teljes rendszere vonatkozó adatok frissítése.



19. ábra: Tanszéki laborba felszerelt fali egység
(forrás: saját forrás)

Ahhoz, hogy ez a rendszer működőképes legyen, szükséges egy olyan követő szabályozási logika megtervezése, mely alapján a drón meg tudja találni az objektumokat abban az esetben is, ha azok mozognak, tehát minden egyes pillanatban változik a pozíciójuk. Azt is fontos biztosítani, hogy miután megtaláltuk a megfigyelni kívánt objektumot, annak egy adott sugarú környezetében tudjuk tartani a drónt egy előre definiált időtartam leteltéig. Ezután a drónt vissza kell indítani az eredeti, kiinduló pozíciójára, vagy repüljön rá a következő megfigyelni kívánt objektumra, és ezt mindaddig csinálja, amíg már több feladata a „körjárat” során nincsen.

3.2.2 A szimuláció felépítése

A következőkben az általunk kidolgozott szabályozási logikát fogjuk bemutatni, mely a drónok irányításáért felel. Ezt a logikát egy Microsoft Excelben kifejlesztett szimulációs környezetben sikerült validálnunk, a folyamatban lévő kutatások során viszont a korábban bemutatott **Parrot AR Drone 2.0** eszközön is le fogjuk tesztelni.

Mit is tűztünk ki végső célul? „N” számosságú drónnak kell megfigyelnie „M” számosságú objektumot, melyben „N” és „M” közötti reláció nem egyértelmű. Mivel ebben az esetben egy elég komplex feladatról van szó, melynek megoldása részben túlmutat a logisztika területén, ezért célszerű leegyszerűsíteni a feladatot. Kezdetben az N=1, M=1 feladatot tűztük ki célul, azaz egyetlen objektum megfigyelését egyetlen

drónnal, mert úgy gondoljuk, hogy ez megfelelő az alapvető irányítási logika kidolgozásához, és jó „építőköve” lesz a továbbiakban.

Az objektum mozgását kétféle módon, lineáris pályán és íven szimuláltuk. Mivel egy raktárban, üzemen az anyagmozgató, operációt végző gépek mozgása igen kiszámíthatatlan, véletlenszerű, ezért bizonyos fokú zajjal terheltük az objektum mozgását mindkét esetben. Fontos, hogy feltételeztük, hogy ezen objektum minden egyes időpillanatbeli helyzetadatai a rendelkezésünkre állnak, illetve, hogy ugyanez érvényes a drónra is. Ugyan az UWB rendszer képes egy másodpercnél sűrűbb frissítésre is, az egyszerűség kedvéért a felépített szimulációs modellben másodperces frissítéssel, időközökkel dolgoztunk.

Ezen szimulációs modellt az egyszerűség kedvéért tehát Microsoft Excel-ben építettük fel, szimpla munkalap-függvények segítségével, az objektumok mozgását pedig x-y plot diagramokon ábrázoltuk. Az MS Excel használatának előnye, hogy a szimuláció bárki által könnyen megérthető, reprodukálható, módosítható, hátránya viszont, hogy nincsen benne időkezelés, azaz csupán egy-egy kísérlet végeredménye látható. A felépített modellt az alábbi, **20. ábrán** illusztráljuk:

Objektum		Drón	
xo	30 m	xo	0 m
yo	0 m	yo	0 m
vo	2 m/s	vmax	10 m/s
alfa	90°	err_x_max	1 m
delta_min	1°	err_y_max	1 m
delta_max	5°	back	50 s
dt	1 s		
eps	3 m		

KPI	Value	Unit	Comment
M(v_obj) (m/s)	1.999	m/s	Objektum átlagos sebessége
M(v_dro) (m/s)	1.722	m/s	Drón átlagos sebessége megtalálástól a hazatérés kezdetéig
Helyezés	3 db		Azon esetek száma, amikor s epszilon fölé megy (megtalálás és hazatérés kezdete között)
t_megtal	4 s		A drón megtalálásának ideje
M(d<epsz)	0.446	m	Drón és objektum átlagos távolsága amikor belül van epszilon sugárú körön
M(dj)*	0.652	m	Drón és objektum átlagos távolsága a megtalálástól a hazatérés kezdetéig
M(dx)	0.652	m	Drón és objektum átlagos távolsága a megtalálástól a hazatérés kezdetéig az x koordináta szerint
M(dy)	0.179	m	Drón és objektum átlagos távolsága a megtalálástól a hazatérés kezdetéig az y koordináta szerint

t	x_obj	y_obj	v_obj	alfa_obj	x_obj_fc	y_obj_fc	x_dro	y_dro	dx_obj-dro_fc	dy_obj-dro_fc	s_obj-dro_fc	v_dro_real
0	30.000	0.000	2.000	90.000	30.000	2.000	0.000	0.000	30.000	2.000	3.814	30.067
1	29.913	1.999	2.001	92.498	29.826	3.999	9.790	-0.107	20.035	4.106	11.582	20.452
2	29.745	3.991	1.998	94.828	29.576	5.982	19.609	1.181	9.967	4.822	25.815	11.072
3	29.410	5.968	2.005	99.615	29.075	7.945	25.798	4.139	3.277	3.806	49.274	5.022
4	28.978	7.921	2.000	102.471	28.546	9.874	28.653	7.262	-0.107	2.611	92.348	2.613
5	28.383	9.825	1.995	107.333	27.789	11.730	28.651	9.156	-0.862	2.574	108.514	2.714
6	27.664	11.697	2.006	111.030	26.944	13.570	27.918	10.444	-0.974	3.125	107.314	3.273
7	26.805	13.504	2.000	115.421	25.947	15.310	26.873	12.858	-0.926	2.452	110.099	2.621
8	25.859	15.257	1.993	118.351	24.913	17.011	26.166	14.945	-1.253	2.066	121.242	2.416
9	24.783	16.943	2.000	122.542	23.707	18.629	25.129	16.654	-1.422	1.975	125.749	2.434
10	23.583	18.585	2.033	126.168	22.384	20.226	23.968	18.276	-1.584	1.949	129.104	2.512
11	22.305	20.100	1.983	130.156	21.026	21.815	22.702	19.626	-1.676	1.889	130.123	2.601
12	20.927	21.562	2.009	133.289	19.550	23.024	21.413	21.157	-1.862	1.867	134.923	2.637
13	19.456	22.891	1.983	137.906	17.985	24.220	20.069	22.338	-2.084	1.882	137.917	2.808
14	17.899	24.119	1.983	141.753	16.342	25.346	18.584	23.484	-2.242	1.862	140.291	2.914
15	16.272	25.239	1.975	145.434	14.646	26.360	16.096	24.488	-1.450	1.872	127.764	2.368
16	14.555	26.249	1.992	149.560	12.837	27.258	13.918	25.662	-1.081	1.996	124.119	1.927
17	12.773	27.141	1.993	153.391	10.991	28.034	13.778	27.309	-2.787	0.725	165.414	2.860
18	10.956	27.913	1.974	156.984	9.139	28.685	11.857	27.809	-2.718	0.876	162.128	2.856
19	9.088	28.611	1.994	159.509	7.220	29.309	9.969	29.241	-2.749	0.069	178.568	2.750
20	7.176	29.150	1.986	164.264	5.265	29.688	8.930	29.192	-3.665	0.069	172.287	3.698
21	5.226	29.594	2.000	167.170	3.276	30.038	5.524	30.451	-2.077	-0.413	-168.761	2.118
22	3.243	29.856	2.000	172.485	1.261	30.117	3.813	30.579	-2.552	-0.462	-169.735	2.594
23	1.253	30.019	1.997	175.292	-0.737	30.183	0.998	29.718	-1.735	0.466	-164.980	1.796
24	-0.747	30.085	2.001	178.110	-2.747	30.151	-0.929	30.235	-1.818	-0.083	-177.370	1.820

20. ábra: Tanszéki laborba felszerelt fali egység
(forrás: saját forrás)

3.2.3 Alapvető megközelítés

Mind az objektum, mind a drón mozgását diszkrétizáltuk, azaz a meghatározott időközök alatt egyenesvonalú egyenletes mozgásként kezeltük, így minden két frissítés között alkalmazhattuk az $s=v*t$ összefüggést. Esetünkben a sebesség skalár, így az

irányvektor segítségével tudtuk meghatározni a megfelelő irányba eső vetületét és így az adott koordináta megváltozását a következő általános összefüggés szerint (mind az objektum mind a drón esetében):

$$(1) \quad x_{t+1} = x_t + dt * v * \cos(\alpha)$$

$$(2) \quad y_{t+1} = y_t + dt * v * \sin(\alpha)$$

Látni fogjuk, hogy a fenti egyenletekben a sebesség abszolút értékének a meghatározásán keresztül tudjuk effektíve irányítani a drónt, hiszen az aktuális koordináták, valamint az irányvektor is minden pillanatban egyértelműen meghatározottak

A dolgozat további részében az alábbi jelöléseket használjuk:

1. táblázat: Jelölésmagyarázat
(forrás: saját szerkesztés)

	Objektum	Drón	Általános
Kiinduló koordináták	x_{0_obj}, y_{0_obj}	x_{0_dro}, y_{0_dro}	
Előrejelzett koordináták	$x_{i_obj_fc}, y_{i_obj_fc}$		
Koordináták	x_{i_obj}, y_{i_obj}	x_{i_dro}, y_{i_dro}	
Írányvektor	α_{i_obj}	α_{i_dro}	
Zaj	$\alpha_{min}, \alpha_{max}$	ΔE	
Sebesség	v_{i_obj}	v_{i_dro}	
Maximális sebesség		v_{max}	
Előrejelzett sebesség	$v_{i_obj_fc}$		
Távolság			$s_{i_obj-dro}$
Időköz			dt

3.2.4 Az objektum pályájának leírása

Mivel az objektum csak a legkritább esetekben mozog egy lineáris egyenes mentén, vagy egy tiszta köríven, ezért bizonyos mértékű zajjal terheltük az útvonalát leíró koordinátákat a valóság minél jobb szimulálása érdekében. Az útvonala úgy lett felépítve, hogy a lehető legtöbb paraméter testreszabható legyen, így könnyen lehessen módosításokat végrehajtani rajta különböző szcenáriók futtatásához.

A trajektória generálásához mindkét esetben a következő paramétereket használtuk:

- Az objektum kiinduló koordinátái
- Az objektum ismert kezdősebessége a t_0 időpontban: v_0

- A kezdeti irányvektor, azaz a szög, melyet az objektum a t_0 időpontban az „x” tengellyel bezár
- Az adott mértékű zajt biztosító szög minimális és maximális értéke, melyek között egyenletes eloszlás szerint változik: $\alpha_{min}, \alpha_{max}$
- Az időköz, mely mutatja az egyes lépések között eltelt időt
- Az objektum adott sugarú környezete, mely sugarú környezetbe belépve megkezdődik a mérés: ϵ

Az objektum mozgásegyenleteit nem szeretnénk túlságosan részletekbe menően bemutatni, hiszen nem ezek kidolgozása a dolgozat fő témája, álljon csak itt végeredményként a koordináták számítása. A t_0 –beli koordinátái ismertek, ezt követően minden egyes koordináta a következőképpen számítható a **lineáris esetben**:

$$(3) \quad x_{i+1} = x_i + dt * v_0 * \cos(\alpha_{min} \dots \alpha_{max}) * \left(\frac{\pi}{180}\right)$$

$$(4) \quad y_{i+1} = y_i + dt * v_0 * \sin(\alpha_{min} \dots \alpha_{max}) * \left(\frac{\pi}{180}\right)$$

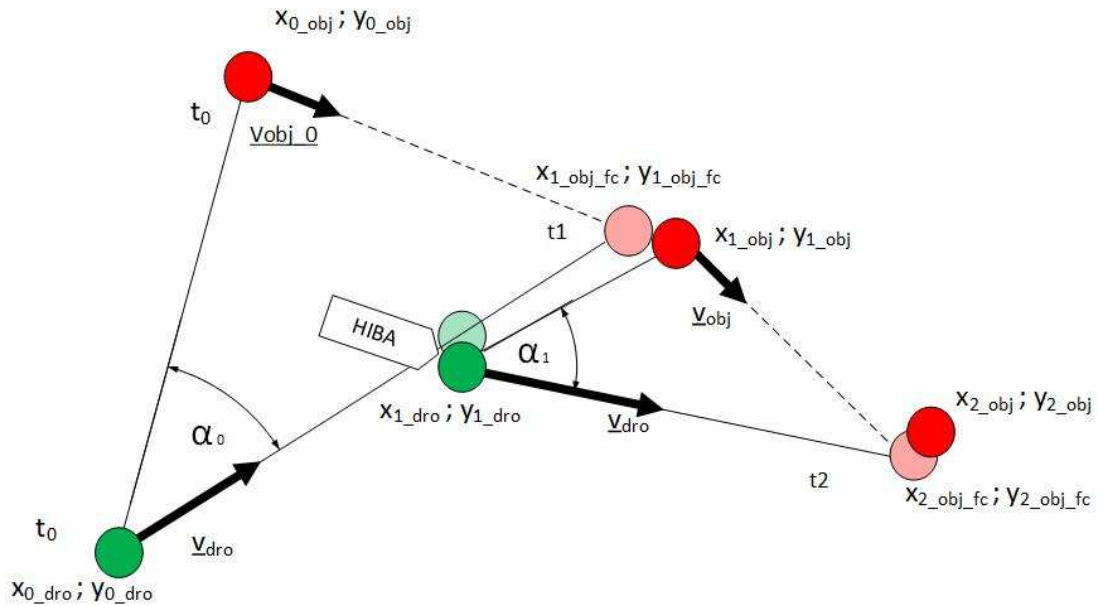
Ív esetén pedig a következő összefüggés használható:

$$(5) \quad x_{i+1} = x_i + dt * v_0 * \cos \left[\left(\frac{180 + (\alpha_{min} \dots \alpha_{max})}{2} + \tan^{-1}(x_i; y_i) * \frac{180}{\pi} \right) * \frac{\pi}{180} \right]$$

$$(6) \quad y_{i+1} = y_i + dt * v_0 * \sin \left[\left(\frac{180 + (\alpha_{min} \dots \alpha_{max})}{2} + \tan^{-1}(x_i; y_i) * \frac{180}{\pi} \right) * \frac{\pi}{180} \right]$$

3.2.5 A drón irányítása

A drón irányításához vegyük adottnak az objektum minden t_i pillanatbeli valós koordinátáit. Ezen koordináták, a valós sebesség, valamint az irányvektor ismeretében másodpercenként előre tudjuk jelezni az objektum minden t_{i+1} pillanatbeli koordinátaértékeit. Ezek szükségesek a drón vezérléséhez, hiszen a drónnak a t_i időpontban azt kell tudnunk célként megadni, hogy várhatóan hol lesz az objektum a t_{i+1} időpontban. Ezt szemlélteti az alábbi ábra, ahol halvány színekkel vannak jelölve az objektum előrejelzett pozíciói és teli körökkel a tényleges helyzetek. A drón esetében ez azt szemlélteti, hogy a valóságban nem tudjuk teljesen determinisztikus módon meghatározni, hogy hol lesz az időköz végén az eszköz, hiszen a turbulenciától kezdve számos faktor közrejátszik. Ezért minden időköz végén az UWB-ből kapott, valós helyzetek alapján kell újraszámolni a következő lépést.



21. ábra: Követési logika számítási metódusa
(forrás: saját szerkesztés)

A valós t_i időpontbeli koordináták ismeretében meg tudjuk határozni az objektum valós sebességét a t_i időpontban:

$$(7) \quad v_{i_obj} = \frac{\sqrt{(x_{i_obj} - x_{i-1_obj})^2 + (y_{i_obj} - y_{i-1_obj})^2}}{dt}$$

A t_0 időpontban az objektum sebességének a kiindulási sebességet tekintjük.

A valós koordináták ismeretében meg tudjuk határozni a megfigyelt objektum „x” tengellyel bezárt szögét minden két szomszédos állapot között, így becsüljük meg, hogy éppen merre is tart az objektum, tehát ezen szög definiálja az irányvektort (a $\left(\frac{180}{\pi}\right)$ tag technikai okokból szerepel, a radian-fok átváltások miatt szükséges a képletekben):

$$(8) \quad \alpha_{i_obj} = \tan^{-1} \left(\frac{x_{i_obj} - x_{i-1_obj}}{y_{i_obj} - y_{i-1_obj}} \right) * \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Kezdetben a megadott szögtartomány középső értékét vesszük figyelembe, melyet korábban definiáltunk a koordináták generálásához.

Az így megkapott sebesség és irányvektor értékeket a (3), (4) egyenletekbe helyettesítve megkapjuk a célt, azaz objektum előrejelzett pozícióját: $x_{i_obj_fc}$, $y_{i_obj_fc}$

A drón pozíciója a t_0 időpontban rögzített, tehát mindig egy előre rögzített pontból, „dokkolóállomásról” indítjuk a drónt, ahonnan meg kell találnia az objektumot. A felépített modellben ez a pont az origó. Ezen információk ismeretében mindig meg tudjuk

határozni az objektum, illetve drón helyzetét meghatározó koordináták különbségeit, azaz a célig hátralévő távolságot:

$$(9) \quad \Delta x_{i_obj-dro} = x_{i_obj_fc} - x_{i_dro}$$

$$(10) \quad \Delta y_{i_obj-dro} = y_{i_obj_fc} - y_{i_dro}$$

A koordinátakülönbségek ismeretében meg tudjuk határozni az objektum előrejelzett pozíciója (cél), illetve a drón aktuális pozíciója (start) által meghatározott helyvektort, ami a drón irányvektoraként funkcionál:

$$(11) \quad \alpha_{i_obj-dro} = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta y_{i_obj_fc-dro}}{\Delta x_{i_obj_fc-dro}} \right) * \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

Emellett az (9), (10)-ban meghatározott koordináta-különbségek alapján ki tudjuk számítani az objektum, illetve drón közötti várható távolság abszolút értékét is:

$$(12) \quad s_{i_obj-dro} = \sqrt{(\Delta x_{i_obj_fc-dro})^2 + (\Delta y_{i_obj_fc-dro})^2}$$

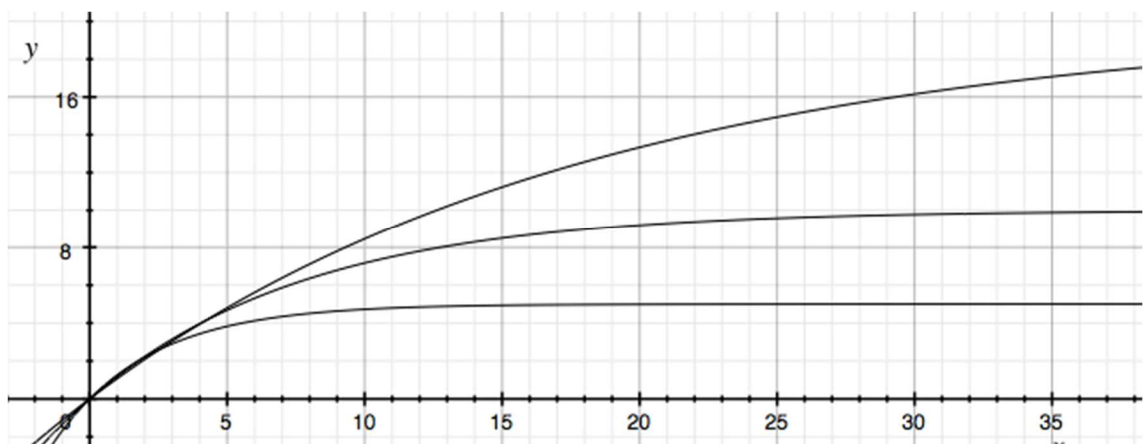
Ez az s távolság kiemelten fontos, mert ez közvetlenül meghatározza a drón sebességét, azaz közvetve a következő pozícióját is. A sebesség abszolút értékének a meghatározása jelenti tulajdonképpen a drón irányítási logikájának a lelkét, hiszen az iránya adott, mindig az objektum felé mutat. A sebesség megadása két külön esetre bomlik: amikor az objektum ε sugarú környezetén kívül illetve amikor azon belül vagyunk. Természetesen azon kívül nagyobb sebességgel szükséges közlekedni, hogy megközelíthessük az objektumot, az objektum környezetében viszont elegendő felvenni annak sebességét:

$$(13) \quad v_{i_dro} = \begin{cases} \frac{v_{max} - v_{max} * e^{-2 * (v_{max}^{-1,2}) * s_{i_obj-dro}}}{v_{max}} & \text{ha } \Delta s > \varepsilon \\ \frac{\text{átlag}(v_{0_obj} \dots v_{i_obj})}{v_{max}} & \text{ha } \Delta s < \varepsilon \end{cases}$$

A képlet első tagja (ha $\Delta s > \varepsilon$) igényelhet némi magyarázatot. Olyan függvényt kerestünk, amely a drón és az objektum távolságának függvényében képes a drón sebességét alkalmas módon meghatározni. Ez azt jelenti, hogy nagy távolságoknál nem nő egy határon túl, az objektumhoz közeledve kellő meredekséggel csökken, 0 távolságkülönbségnél pedig 0 lesz. (Az s nem vesz fel negatív értékeket, lásd (12)). Erre egy

$$(14) \quad y = -e^{-x}$$

alakú egyenlet mutatkozott alkalmasnak, ahol y a drón sebessége, x pedig a távolságkülönbség. Ebből néhány átalakítás után kapjuk (13)-első esetét. A számlálójában az első tag (v_{max}) a sebességfüggvény felső határát határozza meg, a hatvány-kitevős tag együtthatója (v_{max}) azért szükséges, hogy a függvény átmenjen az origon, az hatvány kitevőjében a távolságkülönbség előtt szereplő $-2 * (v_{max}^{-1,2})$ tényező pedig abban segít, hogy a sebességfüggvény meredeksége közvetlenül a megadott (v_{max}) paraméterrel meghatározható legyen. Ennek a meredekségnek, azaz a függvény $0-(v_{max})$ átmenetének jó meghatározása a legfontosabb, ugyanis ha túl meredek, akkor az objektumhoz közelítve túl gyors lehet még a drón, könnyen túlszaladhat rajta, míg ha túl lapos, akkor nem „hatékony” az irányítás, túl későn (vagy egyáltalán nem) érjük el a megadott (v_{max}) sebességet. Ilyen formában viszont a függvény alkalmasnak mutatkozik, hiszen a reálisnak tartott (20 m/s alatti) tartományban gyakorlatilag azonosan viselkednek a függvények az objektumhoz közelítve. Ezt ábrázolja az alábbi, **21. ábra** ($v_{max} = 5, 10, 20 \text{ m/s}$) esetekre, ahol y jelzi a sebességet, x a távolságkülönbséget.



22. ábra: A drón sebességének meghatározása a távolságkülönbség függvényében
(forrás: saját forrás)

(13)-ben a nevező (v_{max})-a pedig csak azért szükséges, hogy 0-1 közötti, százalékos formában legyen megadva a sebesség, amire azért van szükség, mert sok esetben a korszerű, programozható drónok sebességére a programnyelveken belül így tudunk hivatkozni. A már ismertetett AR Drone 2.0 esetében JavaScriptben például azt tudjuk megmondani a drónnak, hogy a maximális sebességének hány százalékával menjen, konkrét sebesség-érték megadására nincs lehetőség.

Összefoglalva a drón irányítása tehát: minden t_i pillanatbeli koordinátáit a t_{i-1} pillanatbeli értékekből számítjuk, a következőképpen:

- Szükségünk van a drón előző pillanatbeli koordinátáira. Feltételezzük, hogy az UWB-n keresztül ez minden időpillanatban a rendelkezésünkre áll
- Szükségünk van még a drón maximális sebességére, ami a drónra egy jellemző, a kísérlet során állandó marad
- Szükség van egy dt paraméterre, amit „időköz”-nek hívunk. Azt mutatja meg, hogy a szimulációban mennyi idő telik el az egyes lépések között.
- Az előrejelzett objektum-pozíciónak köszönhetően tudjuk, hogy a t_i időpontban várhatóan mekkora szöget fog bezárni az objektum, illetve drón pozíciója, azaz mekkora lesz a drón irányvektora
- A t_{i-1} időpontban kiszámítottuk a sebességet százalékos formában, amivel el kell indítanunk a drónt ahhoz, hogy a t_i időpontban ott legyen, ahol várhatóan az objektum is lesz ugyanebben az időpontban. Ezt a drón maximális sebességével szorozzuk
- Mivel a drón mozgása is kiszámíthatatlan, elég nagy hibával üzemel a gyakorlati tapasztalatok alapján, ezért egy paraméterevezhető hibát is belevittünk a drón koordinátáiban, amit a szimuláció során 1-1 méterre vettünk „x”, és „y” irányban is. Ezt jelöli az egyenletek végén a ΔE tag.

A drón koordinátáinak számítása képletesen:

$$(15) \quad x_{i+1} = x_i + dt * v_{\max} * v_{i_dro} * \cos\left(\alpha_{i_obj_fc-dro} * \frac{\pi}{180}\right) + \Delta E$$

$$(16) \quad y_{i+1} = y_i + dt * v_{\max} * v_{i_dro} * \sin\left(\alpha_{i_obj_fc-dro} * \frac{\pi}{180}\right) + \Delta E$$

A legtöbb drón rendelkezik úgynevezett „GoHome” funkcióval, tehát tudja, honnan indult. Ezért ezt biztosítottnak feltételezzük jelen szimulációban is, melyet technikailag úgy valósítottuk meg, hogy miután a megadott hosszúságú videó elkészült (annyi másodpercig az objektum ϵ sugarú környezetében tartózkodtunk), akkor az amúgy is követett objektum koordinátáit nullákra változtattuk.

3.2.6 Szimulációs eredmények

Az így felépített követési logikának működését tehát egy Excel alapú szimulációs környezetben próbáltuk meg validálni, ami rendkívül pozitív eredményeket hozott, ezeket a következőkben ismertetjük, magát a modellt pedig külön fájlban, **1. mellékletként** csatoljuk a dolgozathoz.

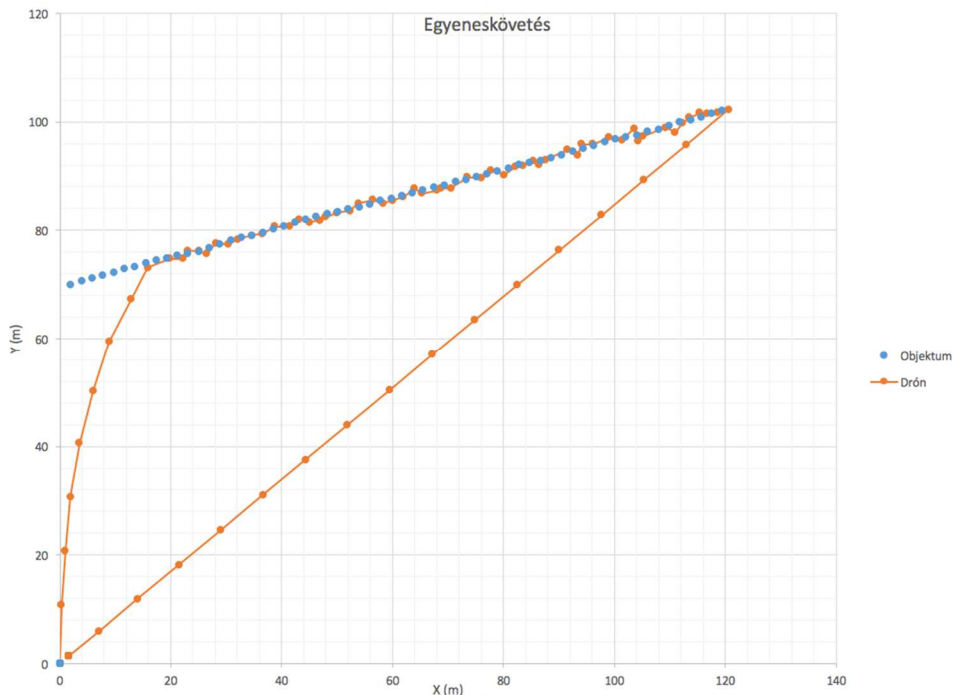
3.2.6.1 . Egyenes mentén mozgó objektum követése

A kísérlet kiinduló adatai a következő ábrán láthatóak:

2. táblázat: Kiinduló adatok a szimulációhoz 1
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

Kiinduló adatok			
Objektum		Drón	
xo	2 m	xo	0 m
yo	70 m	yo	0 m
vo	2 m/s	vmax	10 m/s
alfao	15 °	err_x_max	1 m
delta_min	10 °	err_y_max	1 m
delta_max	20 °	back	50 s
dt	1 s		
eps	3 m		

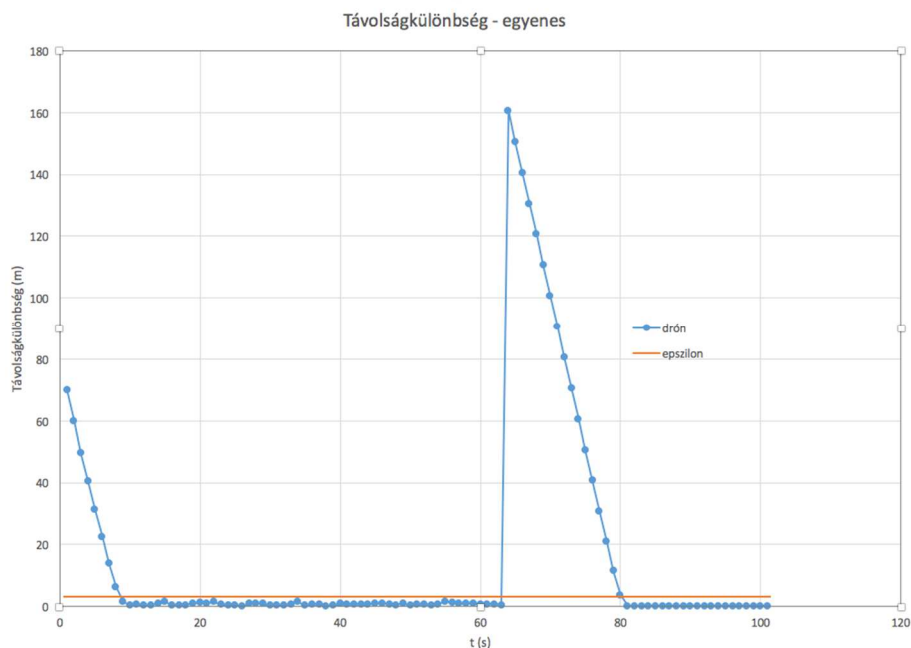
Az egyenes vonalú mozgást végző objektum követése vizuálisan pedig a következőképpen néz ki:



23. ábra: Mozgó objektum követése egyenes mentén
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

A késsel jelölt objektum balról jobbra halad, és jól látható, ahogy a megfigyelést végző drón „rásimul” a pályájára, majd rajta marad egészen a hazatérés kezdetéig (jelen esetben 50 másodperc megfigyelés után) amikor is egyenesvonalú mozgással visszatér az origo ϵ sugarú környezetébe.

A követés során kialakuló valós (tehát nem az előrejelzett pozíciókhoz viszonyított) távolságkülönbségek a következőképp alakultak:



24. ábra: Drón és objektum távolsága
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

A logika megfelelőségét különböző teljesítményindikátorokkal jellemezhetjük, amelyek közül természetesen a távolságkülönbséget tartjuk a legfontosabbnak. Ennek alapján pedig kijelenthetjük, hogy a logika alkalmazhatónak mutatkozik, ugyanis a kialakuló távolságkülönbségek átlaga kevesebb, mint 1 méter. **Ötven** kísérletet elvégezve a távolságkülönbség **várható értéke 75,4 centiméter**, rendkívül alacsony, **7,7 centiméteres szórás** mellett.

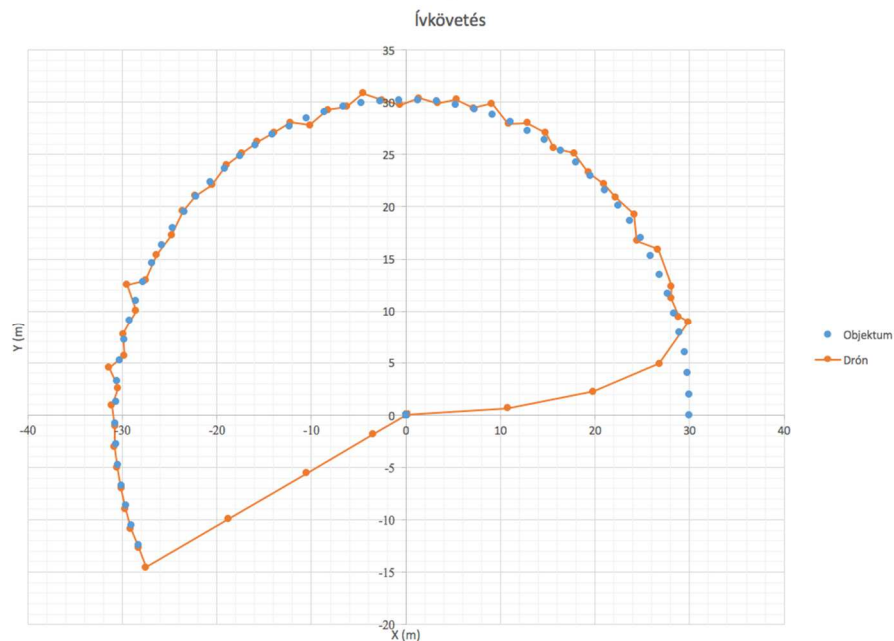
3.2.6.1 Ív mentén mozgó objektum követése

A kiinduló adatok a következők:

3. táblázat: Kiinduló adatok a szimulációhoz 2
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

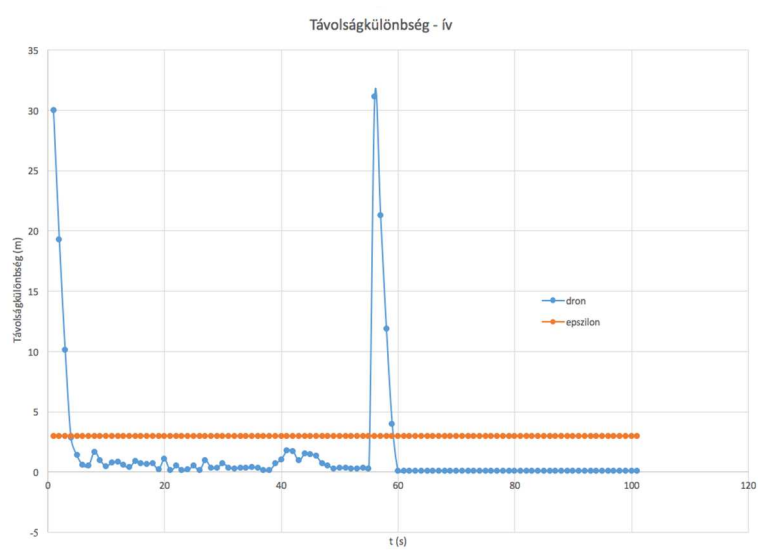
Kiinduló adatok			
Objektum		Drón	
xo	30 m	xo	0 m
yo	0 m	yo	0 m
vo	2 m/s	vmax	10 m/s
alfao	90 °	err_x_max	1 m
delta_min	1 °	err_y_max	1 m
delta_max	5 °	back	50 s
dt	1 s		
eps	3 m		

A kísérlet vizualizálva:



25. ábra: Mozgó objektum követése ív mentén
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

A körívvel végzett kísérlet azért fontos, mert bizonyítja, hogy az irányítási logika nem függ a ténnyedektől, valamint nem zavarodik össze egy folyamatosan irányt váltó objektumtól sem. A távolságkülönbségek ebben az esetben még kedvezőbben is alakultak: szintén **50 kísérlet** elvégzése után **65,7 centiméter a várható értékük**, szintén meglehetősen alacsony, **11,8 centiméteres szórás** mellett.



26. ábra: Drón és objektum távolsága ív menti követésnél
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

Összességében kijelenthető tehát, hogy a szimuláció során sikerült validálnunk az irányítási logika megfelelőségét, azt, hogy ilyen megközelítéssel sikerülhet megfigyelt objektumhoz elég közel kerülni és azután elég közel maradni a megfigyelés elvégzéséhez. További fontos tanulság, hogy a logika alkalmazhatósága nem függ a lépésközök hosszától, sőt, azt csökkentve nagymértékben nő a pontossága. Például 20 ms-ra állítva, ami még az UWB technológiával megvalósítható, 5-6 centiméter közelséget is el tudunk érni. Megállapíthatjuk tehát, hogy az elérhető pontosságnak csupán a lokalizációs adatok valamint a drónnak adott parancsok frissítési gyakorisága szab határt.

4 Költségkalkuláció

4.1 *Hagyományos mintavételes munkanapfelvétel*

Természetesen a bemutatásra került megoldásnak ugyanúgy van egy beruházási költsége, mint minden más hasonló komplexitású rendszernek. Ettől eltekintve azonban ez alapvetően egy szolgáltatás formájában képzelhető el, így ennek költsége különböző egyedi szempontok alapján kerül meghatározásra. Mégsem szabad elvonatkoztatni attól, hogy valamilyen formában ezt célszerű összehasonlítani egy hagyományos mintavételes munkanapfelvétel során keletkezett költségekkel, hiszen az egyik legnagyobb előnye lehet a megoldásnak a mérés lebonyolítására fordítandó költség csökkenése, valamint az egész mérési folyamat hatékonyságának fokozása, a humán erőforrások felszabadítása.

4.1.1 Specifikációs szakasz, fix költségek

Ez az a fázis, ahol mind a hagyományos munkanapfelvétel, mind pedig a drónokkal végzett mérés költség szempontból azonos, hiszen ez az a része a folyamatnak, melyet mind a két esetben igen alaposan el kell végezni ahhoz, hogy az elvárt mérési színvonalat teljesíteni tudjunk.

Ebben a szakaszban kell megismerni a rendszert, vagy a teljes rendszernek azon részét, melyen a mérést fogjuk végezni, továbbá meg kell ismerkednünk a rendszer topológiájával is. Ezen ismeretek függvényében definiálni kell a pontos mérési technológiát, hogy melyek lennének azok a metódusok, amelyek mentén a lehető leghatékonyabban tudnánk kinyerni az adatokat a rendszerből.

Ezt követően szükséges egy próbamérés elvégzése, amelynek eredményének függvényében tudjuk megmondani, hogy a megbízó által elvárt megbízhatóságot pontosan hány emberrel tudjuk biztosítani, és ez pontosan mennyi időt is venne igénybe. Korábbi tapasztalatok alapján, egy ilyen jellegű szolgáltatást végző, ezen a területen nagy tapasztalattal rendelkező vállalkozástól származó információk felhasználásával a specifikációs szakasz kb. 1,5 millió forintba kerül.

4.1.2 Változó költségek

A változó költségek azok a költségek, melyeket a mérőszemélyek száma, illetve a mérési időtartam befolyásol. Egy átlagos mérés általában egy hétig zajlik, azaz ún. egyműszakos vizsgálatok esetén 5 munkanapon keresztül napi 8 órában történik a

vizsgálódó terület megfigyelése. A mérőszemélyek költsége a becslések alapján kb. 3.000 Ft/óra, a mérést vezető, vagy projektvezető költsége pedig kb. 10.000 Ft/óra. Ehhez jönnek hozzá az olyan járulékos költségek, mint az odautazás, illetve visszautazás, itt azonban más költségeket is figyelembe kell venni. Egyrészt a specifikációs szakasznál leírtak szerint szükséges leutazni, megismerni a rendszert, annak topológiáját, ami egy plusz utazási költségként jelenik meg, valamint a mérés befejeztével újból szükséges leutazni, hiszen a megbízóval ismertetni kell a mérés eredményeit. Ebből arra a következtetésre jutottunk, hogy legalább 3 odautazásra, és 3 visszautazásra van szükség, de ennek költségét nagyban befolyásolja a távolság. Ezen felül a mérést végző személyeknek szükséges szállást és ellátást is biztosítani. 5 munkanapon keresztül zajló vizsgálat esetén tehát legalább 4 éjszakára szállást és ellátást kell biztosítani a számukra. A kiértékeléshez a mérést követően további két emberre van szükség, a korábbi tapasztalatok alapján ezek költsége kb. 10.000 Ft/óra, és kb. 5.000 Ft/óra. Továbbá az adatok sikeres elemzéséhez hozzávetőlegesen két heti munka szükséges, azaz 10 munkanapon keresztül szükséges őket kiterhelni. A következő táblázat bemutatja tehát egy hagyományos mintavételes munkanapfelvétel tiszta bekerülési költségét, annak feltételezésével, hogy átlagosan 10 mérőszemély, átlagosan 5 napon keresztül végzi a mérést Magyarországon, valamint a szállás egy 3*-os hotelben van biztosítva félpanziós ellátással, az utazási költséget pedig 200 km-rel, 2 autóval, 8 literes fogyasztással, illetve 340 forintos literenkénti üzemanyagköltséggel számoltuk.

4. táblázat: Költségkalkuláció hagyományos munkanapfelvétel esetén
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

Hagyományos mintavételes munkanapfelvétel tiszta bekerülési költsége	
<i>Számításhoz szükséges becsült paraméterek</i>	
<i>Átlagos utazási távolság</i>	<i>150 km</i>
<i>Mérőszemélyek száma</i>	<i>10 fő + 1 fő projektvezető</i>
<i>Szállás költsége</i>	<i>8.500 Ft/fő/éj félpanzióval</i>
<i>Kiértékelő személyek száma</i>	<i>2 fő</i>
Megnevezés	Ár
Utazási költség	612 000 Ft
Szállás költsége	374 000 Ft
Mérőszemélyek költsége	1 200 000 Ft
Projektvezető költsége	400 000 Ft
Kiértékelő személyek költsége	1 200 000 Ft
Összesen	3 786 000 Ft

4.2 Drónokkal történő mintavételes munkanapfelvétel

Amennyiben a teljes mérést a korábban leírtak szerint drónokkal szeretnénk végezni, a várható költségekben igazán megmutatkozik ennek létjogosultsága. A specifikációs résznél leírtak itt is ugyanúgy érvényesek, mint hagyományos esetben, hiszen a rendszert ebben az esetben is meg kell ismerni, próbaméréseket kell végezni a megbízhatóság megállapításához, és ennek függvényében tudjuk meghatározni a méréshez szükséges drónok számát, illetve a mérés időtartamát. Tehát feltételezzük, hogy itt is ugyanúgy jelen van a 1,5 millió forintos fix költség.

A változó költségek azok, melyekben jelentős megtakarítási potenciál rejlik. Ebben az esetben ugyanúgy szükség van leutazni a specifikációs szakasz elvégzésére, valamint a mérést elvégezni, illetve a kiértékelést megmutatni a megbízónak, tehát a háromszori oda-vissza utazás itt is jelen van, viszont elegendő egy autó, hiszen a teljes rendszer méréséhez nincs szükség humán erőforrásra, drónokkal végeznénk a mérést, és minden ehhez szükséges eszköz rendelkezésre áll. Felmerülhet a kérdés, hogy a jövőben minden nagyobb vállalat rendelkezni fog-e beltéri lokalizációs rendszerrel, de nem feltétlen UWB-vel, így ez is egy költségnövelő tényező lehet. Vagyis kérdés, hogy az UWB jelen van-e a megbízó vállalatnál, vagy pedig a beltéri helymeghatározást is nekünk kell biztosítani. Utóbbi variánsnál nyilván magasabb lesz a szolgáltatás díja. A mérés lebonyolítása során egyetlen projektvezetőre van szükség, aki felügyeli a drónok által végzett mérési folyamatokat, a korábbiak szerint az ő költsége kb. 10.000 Ft/óra, heti átlagosan 5 napon keresztül, átlagosan 8 órás munkaidővel számolva. Itt csupán egyetlen ember szállásával kell számolnunk 4 éjszakán át, félpanziós ellátással a korábban említett 3*-os hotelben, ellentétben a hagyományos munkanapfelvételnél jelenlévő 11 fővel, így a szállásra vonatkozó költségek máris drasztikusan csökkennek. A drónok miatt pedig a mérőszemélyek költsége teljesen kiesik a kalkulációból, csupán a drónok üzemeltetési költségével kell számolni. Ezen eszközök fogyasztása egy üzem számára szinte elhanyagolható, tehát a mérést végző személyek költségét teljes egészében meg tudtuk takarítani. Kiértékelésnél azzal a feltételezéssel élünk, hogy elegendő egy személy a felvételek értékeléséhez, és erős túlzással kb. 5 napig kell ezen dolgoznia.

5. táblázat: Költségkalkuláció drónokkal történő mintavételezés esetén
(forrás: saját szerkesztés, MS Excel)

Drónokkal történő mintavételes munkanapfelvétel	
<i>Számításhoz szükséges becsült paraméterek</i>	
<i>Átlagos utazási távolság</i>	150 km
<i>Mérőszemélyek száma</i>	1 fő, projektvezető
<i>Szállás költsége</i>	8.500 Ft/fő/éj félpanzióval
<i>Kiértékelő személyek száma</i>	1 fő
Megnevezés	Ár
Telepítés költsége	300 000 Ft
Utazási költség	306 000 Ft
Szállás költsége	34 000 Ft
Mérőszemélyek költsége	0 Ft
Projektvezető költsége	400 000 Ft
Kiértékelő személyek költsége	200 000 Ft
Összesen	1 240 000 Ft

Továbbá ebben az esetben az egész rendszer kalibrálása miatt a specifikációs szakaszon túl szükség van a rendszer telepítésére, hiszen itt nem mérőszemélyekkel történik a mérés, hanem szükség van az adott üzemre, üzembrészre történő rendszerkalibrációra, hogy pontos mérést tudjuk végezni. Ami rendkívül nagy előnye ennek a scenáriónak, hogy itt nem korlátozódik egy hétre a mérés, hiszen manapság sokan azért igénylik a mérést átlagosan 5 napra, mert a mérőszemélyekkel való mérés rendkívül költséges, ebben az esetben azonban nem kell velük számolnunk. Azt is fontos megemlíteni, hogy itt nem kötelező napi 8 órában mérni. Amennyiben erre szükség, vagy igény mutatkozik, akkor a rendszer automatizáltsága révén lehetőség van akár 24 órában 5 napon keresztül, vagy akár két hétig is mérni, így sokkal nagyobb mintából tudjuk elkészíteni a statisztikai elemzést, valamint sokkal sűrűbben is tudunk mintát venni a drónok sebessége miatt.

A becsült költségkalkulációból is nagyon jól látszik, hogy legalább az **1/3-ára csökkennek** a változó költségek abban az esetben, ha drónokat alkalmazunk, viszont ebben az esetben a hagyományos mérésnél jelenlévő, humán erőforrásból fakadó korlátozások nincsenek érvényben. Tehát ilyen esetben sokkal nagyobb megbízhatóságot tudunk garantálni a megbízónak ugyanannyi mérési idő alatt, kevesebb költség mellett.

Az elemző fázisban azt feltételezzük, hogy az elkészült videófelvevételek alapján végzi egy erre kompetens személy egy digitális kiértékelő lap kitöltését, és ezt követően azok automatikusan kerülnek kiértékelésre, hiszen napjainkban számos, intelligens statisztikai szoftver létezik, melyek gond nélkül elvégzik egy nagyobb adathalmaz kiértékelését,

tehát a hagyományos munkanapfelvétel esetében jelen lévő probléma megszűnik, hiszen nem kell digitalizálni a mérés során használt mérőlapokat.

Fontos megjegyezni, hogy ezen a ponton a **mérési szolgáltatást nyújtó vállalat árazási stratégiája kerül előtérbe**. Ez történhet az itt ismertetett költség-alapú árazással (cost-based pricing), de ennél valószínűbb az érték-alapú árazás (value-based pricing) alkalmazása, hiszen a jelenlegi piaci áraknál drasztikusan kisebb önköltséggel lennének képesek a szolgáltatást elvégezni, viszont az ügyfelek által felfogott értéke a szolgáltatásnak ennél lényegesen magasabb (többet is hajlandóak fizetni). [43] Ez egy win-win helyzetet eredményezne, hiszen az ügyfelek számára jelentkező – még mindig jelentős – árcsökkenés mellett a hagyományos megoldásoknál magasabb margin lenne elérhető.

5 Következő lépések

Az felépített szabályozási logika, annak validálása szimulációs környezetben megállja a helyét, kellő pontossággal működik a beiktatott hibákkal együtt is, ami alátámasztja azt a feltételezést, hogy ez a logika valós rendszerbe integrálást követően is működőképes lehet, tehát ki tudná váltani a tisztán humán erőforrásokkal kivitelezett megfigyeléseket.

A jövőben számos olyan problémára kell választ találnunk, melyek rendkívüli nehézségeket okoznak a valós, fizikai kivitelezést illetően. Például szükség van egy megfelelő eszközre, mellyel meg lehet valósítani a megfigyelést oly módon, hogy az az általunk elképzelt logika alapján működjön, tehát ezt a logikát át kell ültetni egy olyan környezetbe, melyet a drón is tud értelmezni. Ilyen környezet lehet például a C++, vagy a JavaScript. Fontos megemlíteni, hogy az MS Excelben történő modellépítés is ennek tükrében készült, tehát szem előtt volt tartva, hogy ezt előbb-utóbb át kell ültetni valamilyen programozási környezetbe.

Eddig csupán azzal foglalkoztunk, hogy egy drón hogyan és miként érheti utol a megfigyelt objektumot, illetve a megfigyelést követően milyen logika mentén térjen vissza a kiindulópontra. Magát a megfigyelés részt is ki kell dolgozni, hiszen nem csak a nekünk kell tudni, hogy megfelelő sugarú körön belül helyezkedik-e el a drón az objektum körül, hanem a drónnak is tisztában kell lennie ezzel annak érdekében, hogy a rászerezelt, vagy adott esetben integrált kamerát kezelni tudja. Ugyanis adott sugarú körön belülre érve nem csak a sebesség az egyetlen olyan tényező, melyet figyelembe kell venni, hiszen a sebesség vezérlése nincs hatással magára a megfigyelésre, csupán azt biztosítjuk vele, hogy a megfelelő távolságon belül tudjunk maradni folyamatos helyváltoztatás mellett. További logikák, algoritmusok kidolgozása szükséges ahhoz, hogy ezen körön belülre érve a kamera is működésbe lépjen, készüljön el a megfelelő hosszúságú felvétel a konkrét tevékenység beazonosításához. Elegendő kezdetben azt feltételezni, hogy valamilyen fedélzeti háttértárolón történik a felvételek tárolása, de az is reális elképzelés lehet, hogy közvetlenül a videórögzítés befejeztével valamilyen hálózaton keresztül megosztásra kerül a videófelvétel, így akár egy asztali számítógépről, a megfelelő hálózati hozzáféréssel megkezdődhet a felvételek kvázi real-time kiértékelése.

Miután mindezen problémákra megoldást találtunk, elengedhetetlen egy olyan felület (GUI) megalkotása, melyen keresztül minden egyes drón monitorozására lehetőség nyílik. Több drón esetén ezen keresztül nyomon lehetne követni, hogy melyik drón éppen mit is csinál: a töltőállomáson tartózkodik, objektumot közelít meg, felvételt készít, stb.

A mérés végeztével történik a hagyományos mintavételes munkanapfelvétel során használt mérőlapok kitöltése, melyet a hagyományos esetben a mérő személyek töltenek ki a mérés során. Itt is az az érv szól az általunk elképzelt megoldás mellett, hogy ezen felvételek digitális kiértékeléséhez elegendő egyetlen személy. Miután elkészült az elemzés, ezt követően el kell készíteni a statisztikai kimutatást a mérésre vonatkozóan. Ez a kimutatást készülhet manuálisan, de a kitöltött (akár digitális) mérőlapok alapján egy kiértékelő-szoftver is elkészítheti mindezt.

Tehát a kezdetben tisztán humán erőforrásokra támaszkodó hagyományos mintavételes munkanapfelvétellel ellentétben ebben az esetben teljesen ki tudjuk iktatni a humán faktort a mérési folyamatból. Csupán a mérés után szükséges humán erőforrást igénybe venni a kiértékelés miatt, valamint a korábban leírtak szerint a mérés alatt is szükséges egy felügyelő személy, aki a rendszer működését ellenőrzi, a szükséges hibákat kezeli, viszont ez nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy mind a két feladatot elláthatja ugyanaz a személy. Így a humán erőforrás igényt máris jelentős mértékben sikerült csökkenteni, valamint sikerült automatizálttá tenni a megfigyelési folyamatot.

A következő fontos kérdés, hogy mi a helyzet több objektum megfigyelése esetén. Az eddig felépített és vizsgált logika ugyanis egyetlen objektumra és egyetlen drónra vonatkozik, de a gyakorlatban szinte minden esetben objektumot kell megfigyelnünk, melyek megfigyeléséhez nem elegendő egyetlen drón, így fontos az adott rendszerre fókuszálva vizsgálni a megfigyelt objektumok számának, illetve ehhez szükséges megfigyelő drónok számának kapcsolatát. Ezen belül egyértelmű, hogy a drónok számát jelentős mértékben az fogja befolyásolni, hogy milyen megbízhatóság mellett szeretnénk elvégezni a mérést, hiszen hagyományos mintavételes munkanapfelvétel esetén is a mérőszemélyek számát jelentős mértékben befolyásolja az elvárt megbízhatóság.

5.1 A megoldásban rejlő további lehetőségek

Több olyan fejlesztési lehetőség rejlik az eddigi elképzelésekben, melyek kivitelezése napjainkban technológiai korlátok miatt még nem feltétlenül lehetséges.

Ilyen lehetőségként tekintünk például a drón korszerű szenzorokkal történő felszerelésére is. Sok esetben ezek a technológiák már léteznek, például különböző ultrahang alapú szenzorok alkalmazhatók az akadályok elkerülésére, viszont nem elképzelhetetlen, hogy olyan fejlődés előtt állnak ezek a technológiák, hogy akár a későbbiekben a drón a saját fedélzetén fel fogja tudni dolgozni az ezen szenzorokból érkező adatokat is, így egy teljes képet kap saját, fizikai környezetéről. Így egy egészen

más helyzetbe kerülhetnek a fejlesztések, hiszen a drónok intelligenciáját jelentős mértékben megnövelik ezek a tulajdonságok, ezzel egy új helyzetet teremtve a további fejlesztéseknek.

A továbbiakban fejlesztési lehetőségként tekinthetünk a különböző képfeldolgozó algoritmusok rendszerbe történő integrálására is. Ennek fényében feleslegessé válhat a klasszikus „mérőlap” funkció, hiszen a drón a saját kameráján keresztül, az adatokat akár a fedélzeten feldolgozva, képfelismerés útján meg fogja tudni határozni, hogy a megfigyelt objektum milyen tevékenységet végez, és ez az adat kerül regisztrálásra a vizsgálati adatbázisban. Ezeknek az adatoknak a birtokában lényegében egy valós idejű értékelés is megvalósíthatóvá válhat. A képfelismerésben rejlő lehetőségeket továbbá az objektum követésében is hasznosíthatjuk. Erre már számos példa létezik napjainkban is, a hobbiprojektoktól [44] kezdve számos tudományos cikk született arról, hogy hogyan lehet mozgó objektumokat követni a drón kameraképe alapján. Ezek közül [45][46][47] konkrétan AR Drone-t alkalmaztak kutatásaikhoz, ami bizonyítja ennek a modellnek a rátermettségét. Az ilyen megoldások integrálása a tervezett rendszerbe tehát nem is olyan távoli, mint amilyenek elsőre látszik.

6 Befejezés, összegzés

A dolgozat során felvázoltuk azokat a területeket, ahol lehetőség lenne drónok integrálására meglévő rendszerekbe, ezáltal kiváltva a szükséges humán erőforrásokat, így javítva a folyamatok hatékonyságát és egyéb jellemzőit. Ezen alternatívák közül a mintavételes munkanapfelvétel drónokkal történő megvalósítását választottuk kutatásunk témájának, aminek számos oka van. Egyrészt ezen a területen az általunk végzett kutatások alapján az rajzolódik ki, hogy úttörőnek nyilvánítható az elképzelésünk, másrészt a gyakorlati megvalósíthatóságot is biztosítottak látjuk a ma rendelkezésre álló technológiák segítségével, ezentúl jelentős potenciált tudunk kimutatni a rendszer alkalmazásának esetében.

Bemutattuk az elképzelt rendszer elemeit és ezek kapcsolatait. A dinamikus elemek a megfigyelést végző, kamerával felszerelt drón, valamint a megfigyelt objektum, legyen az egy gép vagy egy munkát végző alkalmazott. Ezek helyzetét nagy pontossággal meg kell tudnunk határozni, melyre az úgynevezett UWB technológia tűnik a legalkalmasabb választásnak. Szükség van még egy informatikai rendszerre, mely többek között fogadja, feldolgozza ezen helyadatokat, irányítja a drónokat, valamint rögzíti a rendszer jellemzőit. Mindehhez természetesen elengedhetetlen egy robosztus kapcsolatokat biztosító hálózati infrastruktúra, továbbá szükségesnek tartunk egy humán interfészt is a beállítás, valamint a monitorozás során.

Munkánk során először az irányítási logika kidolgozását és tesztelését helyeztük fókuszba, melyet részletesen ismertettünk a dolgozatban. Ez egy diszkrét irányítási logika, amely bizonyos időközönként (pl. 1 másodperc) kapja bemenetként a megfigyelendő objektum és a drón koordinátáit, kiszámolja a következő időpontban szükséges elérendő célt, majd kiadja az irányítási parancsot a drónnak. Az irányítási logika szimulációs modelljét Microsoft Excelben építettük fel, hogy szimulálni tudjuk annak működését, és következtetéseket vonhassunk le az alkalmasságával kapcsolatban egy egyenes vonalú, valamint egy íven mozgó objektum követésének esetén. Ennek eredményeképp azt tudtuk megállapítani, hogy a koordináták rendelkezésre állásának esetén a szabályozási logika megfelelően működik, 1 méternél is pontosabban meg tudja közelíteni az objektumot a drón. Fontos eredmény továbbá, hogy a lépésközök csökkentésével az elért pontosság tovább növelhető.

Dolgozatunkat a kutatás hátralévő lépésinek ismertetése előtt a hagyományos és az általunk elképzelt rendszer költségvonzatainak összehasonlításával zártuk, mely alapján kijelenthető, hogy az általunk elképzelt rendszer egyszerre képes drasztikusan csökkenteni a mintavételes munkanapfelvétel, mint szolgáltatás igénybevételenek árát, valamint a növelni a szolgáltatást nyújtó cégek profitrátáját

7 Irodalomjegyzék

- [1.] **DHL. Logistics Trend Radar**
http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_logistics_trend_radar_2016.pdf (megtekintve: 2017. október 29.)
- [2.] Drónok – BOOKAZINE Polihisztok magazin (megtekintve 2016. Q4)
- [3.] Eyesee –<https://eyesee-drone.com/> (megtekintve: 2017. október 29.)
- [4.] Portálorobotok - <http://www.photoneo.com/product-detail/bin-picking-solution/> (megtekintve: 2017. október 29.)
- [5.] Robotics and Autonomous Systems: Visual feedback with multiple cameras in a UAVs Human–Swarm Interface; www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [6.] Microdrones in Logistic;
<https://www.microdrones.com/en/applications/growth-markets/quadcopter-for-logistics/> (megtekintve: 2017. május 16.)
- [7.] Robotics and Autonomous Systems - Advanced approaches for multi-robot coordination in logistic scenarios; www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [8.] Use of Unmanned Aerial Vehicles for Medical Product Transport;
www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [9.] IFAC - Chaotic Biogeography-Based Optimization Approach to Receding Horizon Control for Multiple UAVs Formation Flight;
www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [10.] Safety Science - Pioneering with UAVs at the battlefield: The influence of organizational design on self-organization and the emergence of safety;
www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [11.] Robotics and Autonomous Systems - Visual feedback with multiple cameras in a UAVs Human–Swarm Interface; www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)

- [12.] Transportation Research: The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery; www.sciencedirect.com (megtekintve: 2017. május 16.)
- [13.] Dr. Kovács Péter (szerkesztette): Üzemszervezés jegyzet (megtekintve: 2017. április 16.)
- [14.] Dr. Kovács Gábor: Anyagmozgatási folyamatok vizsgálata – Esettanulmány https://www.logisztika.bme.hu/letoltes/BSc/BMEKOALM225_BMEKOKUA259_BMEKOKUA639_Anyagmozgatasi_raktarozasi_folyamatok/EA/AF_4.pdf (megtekintve: 2017. október 28.)
- [15.] Munka (A Kaizen Pro online Lean-szótárának szócikke) <http://leanszotar.hu/page.php?116> (megtekintve: 2017. április 16.)
- [16.] Dr. Bóna Krisztián: Az RST folyamatok vizsgálata (diasor az Anyagmozgatási és raktározási folyamatok című tárgy előadásaihoz) Forrás: <https://www.logisztika.bme.hu/hu/hallgatoknak/tananyagok.html> (megtekintve: 2017. április 16.)
- [17.] Révész János: Folyamatok mérése és elemzése iPad-en <http://tdk.bme.hu/KSK/LOG2/Folyamatok-merese-es-elemzese-iPaden2>
- [18.] Avigilon Logistic End-to-End szolgáltatás HD felbontású videóhálózattal <http://avigilon.com/industries/transportation/>
- [19.] Steve Banker: Intelligent Forklifts Reshape the Warehouse <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2014/03/06/intelligent-forklifts-reshape-the-warehouse/#4e0830953b1c>
- [20.] *Platform Industrie 4.0* **What is Industrie 4.0?** <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html> (megtekintve: 2017. október 29.)
- [21.] *DHL: Logistics Trend Radar 2016* http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_logistics_trend_radar_2016.pdf
- [22.] Robot Operating System <http://www.ros.org/> (megtekintve: 2017. május 16.)
- [23.] DJI Matrice 100 Specs <http://www.dji.com/matrice100/info#specs> (megtekintve: 2017. május 16.)

- [24.] Onboard SDK <https://developer.dji.com/onboard-sdk/> (megtekintve: 2017. május 16.)
- [25.] DJI Mobile SDK <https://developer.dji.com/mobile-sdk/> (megtekintve: 2017. május 16.)
- [26.] DJI Onboard SDK ROS Example <https://developer.dji.com/onboard-sdk/documentation/github-platform-docs/ROS/README.html>
(megtekintve: 2017. május 16.)
- [27.] DJI Guidance SDK <https://developer.dji.com/guidance-sdk/> (megtekintve: 2017. május 16.)
- [28.] Parrot AR Drone 2.0 Specs <https://www.parrot.com/global/drones/parrot-ardrone-20-power-edition#technical> (megtekintve: 2017. október 29.)
- [29.] GitHub Parrot AR 2.0 https://github.com/AutonomyLab/ardrone_autonomy
(megtekintve: 2017. október 5.)
- [30.] InfSoft – Smart Connected Locations <https://www.infsoft.com/> (2017. július 15.)
- [31.] InfSoft – Smart Connected Locations helymeghatározás pontossága <https://www.infsoft.com/indoor-positioning> (2017. július 15.)
- [32.] Ultra Wide Band, University of Colorado, Department of Electrical, Computer, and Energy Engineering
<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/marko/UWB/UWB/UWB.htm>
(megtekintve: 2017. február 24.)
- [33.] The Code of Federal Regulations, Title 47, Section 15, SubPart F – Ultra-Wideband Operation <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2005-title47-vol1/pdf/CFR-2005-title47-vol1.pdf> (megtekintve: 2017. február 24.)
- [34.] Magyar Közlöny, 2013. évi 3. szám
<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/MK13003.pdf>
(megtekintve 2017 október 29)
- [35.] Multipath Propagation Tutorial
<http://www.radio-electronics.com/info/propagation/multipath/multipath-propagation-basics-tutorial.php> (megtekintve: 2017. február 25.)

- [36.] On the Robustness of Ultra-Wide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environments <http://wgroup.lids.mit.edu/publications/moewin/Robust-CL-02-98.pdf> (megtekintve: 2017. február 25.)
- [37.] Inter-symbol Interference (ISI) <http://faculty.kfupm.edu.sa/ee/wajih/files/EE%20418,%20Lecture%2015.pdf> (megtekintve: 2017. február 25.)
- [38.] A Robot Self-Localization System using One-Way Ultra-Wideband Communication <http://mikehamer.info/assets/papers/Ledergerber,%20Hamer,%20DAndrea%20-%20IROS%202015.pdf> (megtekintve: 2017. február 25.)
- [39.] Membership Management and Positioning Method of Multiple Objects using UWB Communication http://ac.els-cdn.com/S187705091600212X/1-s2.0-S187705091600212X-main.pdf?_tid=42e004a8-fc0a-11e6-b1b5-00000aab0f6c&acdnat=1488103348_fc36461555143b134bc243a6f3b48f4c (megtekintve: 2017. február 26.)
- [40.] Time Domain P330 Datasheet <http://www.timedomain.com/wp/wp-content/uploads/2015/11/320-0330A-P330-Data-Sheet-PRELIMINARY.pdf> (megtekintve: 2017. február 25.)
- [41.] Time Domain P440 Datasheet <http://www.timedomain.com/wp/wp-content/uploads/2017/02/320-0317D-P440-Data-Sheet-User-Guide.pdf> (megtekintve: 2017. február 25.)
- [42.] Benini, A. Mancini, A. Marinelli, S. Longhi: A Biased Extended Kalman Filter for Indoor Localization of a Mobile Agent using Low-Cost IMU and UWB Wireless Sensor Network; 10th IFAC Symposium on Robot Control, 735..740. oldal
- [43.] *W. Shatner. Pricing Strategies for Services* [https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Business%20Administration/Customer%20Service%20-%20Principles%20of%20Service%20Marketing%20and%20Management%20\(2008\)/Chapter%20Eight%20-%20Pricing%20Strategies%20for%20Services.pdf](https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Business%20Administration/Customer%20Service%20-%20Principles%20of%20Service%20Marketing%20and%20Management%20(2008)/Chapter%20Eight%20-%20Pricing%20Strategies%20for%20Services.pdf) (megtekintve 2017. október 29.)

- [44.] *C. Franzen: **How to teach your drone to track things***
https://motherboard.vice.com/en_us/article/8qxky3/how-to-teach-your-drone-to-track-things (megtekintve: 2017. október 29)
- [45.] *N. Thiang, et al. **Vision based object tracking algorithm with AR.Drone,***
International journal of scientific & technology research, volume 5, issue
06, (2016)
- [46.] *O. Escobar et al. **Real time drone object tracking using histograms of***
***oriented gradients and particle filters,** Mexican International Conference*
on Artificial Intelligence, (nd)
- [47.] *M. Coskun, S Ünal. **Implementation of tracking of a moving object based***
***on camshift approach with a UAV,** 9th International conference*
interdisciplinarity in engineering, Romania, (2015)

8 Ábrajegyzék

1. ábra: Drónok sokoldalú alkalmazhatósága (forrás: https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/images/text-generic-1592x896/glo-trend-research-uav.jpg)	4
2. ábra: Eyesee Drón leltározás (forrás: https://eyesee-drone.com/).....	7
3. ábra: 34.000 rakodólapnyi lokáció ellenőrzése humán erőforrással és drónnal (forrás: https://eyesee-drone.com/#post-18).....	8
4. ábra: Kommissiózás drónokkal (forrás: https://media.licdn.com/mpr/mpr/AEEAAQAAAAAAAAAz-AAAAJDlkNmI4OGZjLTFkZTktNGQyOC1hMzhhLWY0NWE1MDI4YTBjMQ.jpg , saját szerkesztés).....	9
5. ábra: TSP példa (forrás: https://optimization.mccormick.northwestern.edu/images/e/ea/48StatesTSP.png).....	11
6. ábra: PDSTSP és FSTSP (forrás: Transportation Research: The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery, www.sciencedirect.com).....	12
7. ábra: Példa mintavételes munkanapfelvétel eredményére, egy targonca tevékenységeinek megoszlása egy műszak alatt (forrás: Dr. Bóna Krisztián: Anyagmozgatási, raktározási folyamatok EA – Az RST folyamatok vizsgálata).....	16
8. ábra: Sundance LTD kamerás megfigyelés példa (forrás: http://sundanceltd.com/portfolio-view/ip-surveillance-system-manufacturing-facility/)	18
9. ábra: Intelligens targonca (forrás: https://i.pinimg.com/originals/9e/8c/e7/9e8ce7c15aa45e03b1f67e533d975c91.jpg)	19
10. ábra: Ipar 4.0 (forrás: http://www.funkschau.de/uploads/media_uploads/images/1448465417-101-mimi-potter-fotolia628x353.jpg)	20
11. ábra: Rendszer működésének vázlata (forrás: https://img-new.cgtrader.com/items/746337/040858c0bd/3d-model-low-poly-warehouse-with-forklift-and-truck-3d-model-low-poly-max-obj-3ds-fbx-ma-mb-mtl.jpg , saját szerkesztés)	21
12. ábra: Rendszer működésének vázlata (forrás: saját szerkesztés, MS Visio).....	23

13. ábra: DJI Matrice 100 (forrás: https://product1.djicdn.com/uploads/photos/3521/medium_p1.jpg)	25
14. ábra: Parrot AR 2.0 (forrás: https://www.parrot.com/us/sites/default/files/ar_drone_power_edition_orange.png) ...	26
15. ábra: DecaWave UWB Active RFID modul (http://www.rfidjournal.com/lib/x/a/assets/2014/07/DecaWave-image-1-web.jpg)	28
16. ábra: UWB működési elve (forrás: https://www.intechopen.com/source/html/17467/media/image1.jpeg)	31
17. ábra: Megfigyelés logikája (forrás: saját szerkesztés, MS Visio)	34
18. ábra: Tanszéki laborban használható UWB tag (forrás: saját forrás).....	35
19. ábra: Tanszéki laborba felszerelt fali egység (forrás: saját forrás).....	38
20. ábra: Tanszéki laborba felszerelt fali egység (forrás: saját forrás).....	39
20. ábra: Követési logika számítási módszere (forrás: saját szerkesztés)	42
21. ábra: A drón sebességének meghatározása a távolságkülönbség függvényében (forrás: saját forrás).....	44
22. ábra: Mozgó objektum követése egyenes mentén (forrás: saját szerkesztés, MS Excel)	46
23. ábra: Drón és objektum távolsága (forrás: saját szerkesztés, MS Excel)	47
24. ábra: Mozgó objektum követése ív mentén (forrás: saját szerkesztés, MS Excel) .	48
25. ábra: Drón és objektum távolsága ív menti követésnél (forrás: saját szerkesztés, MS Excel)	48

9 Táblázatjegyzék

1. táblázat: Jelölésmagyarázat (forrás: saját szerkesztés).....	40
2. táblázat: Kiinduló adatok a szimulációhoz 1 (forrás: saját szerkesztés, MS Excel) .	46
3. táblázat: Kiinduló adatok a szimulációhoz 2 (forrás: saját szerkesztés, MS Excel) .	47
4. táblázat: Költségkalkuláció hagyományos munkanapfelvétel esetén (forrás: saját szerkesztés, MS Excel)	51
5. táblázat: Költségkalkuláció drónokkal történő mintavételezés esetén (forrás: saját szerkesztés, MS Excel)	53

10 Mellékletek

1. melléklet: Szimulációs modell Microsoft Excelben (külön fájlként csatolva)	
--	--