

TDK

Autonóm UAV segítségével megvalósított leltározó rendszer tervezése és tesztelése

Kocsi-Horváth Martin

**Villamosmérnöki BSc szak
Automatizálási specializáció**

Németh Márk

**Villamosmérnöki BSc szak
Automatizálási specializáció**

2024

Absztrakt

Egy autonóm UAV-val (Unmanned Aerial Vehicle) megvalósított leltározási rendszer, előnye az, hogy segítségével rengeteg humán és pénzügyi erőforrást lehet spórolni. Legfőbb nehézség egy ilyen rendszer létrehozásában a GPS (Global Positioning System) nélküli pozicionálás megvalósítása, mert jelenleg a GPS adatok nélküli pozicionálás megvalósítási szempontból nincs kellőképpen feltárva. További problémát jelent, hogy a beltéri leltározásból adódóan kis méretű drón van szükség, ami kérdéseket vet fel a megvalósíthatósággal kapcsolatban. Az alábbi dolgozatban egy lehetséges megoldást dolgoztunk ki, ami optikai alapon valósítja meg a GPS nélküli drón irányítást. Az optikai alapú működés az egyik legjobban feltárt terület, ami kompakt megoldást biztosít. Vizsgálatunk során sikeresen megvalósítottuk a sztereókamerás irányítást egy 7 inches vázzal rendelkező drónon. Az irányíthatóság ígéretes, további szenzorok és eszközök felszerelésére is van még lehetőség. A kutatások és tesztek során, arra jutottunk, hogy a rendszer bizonyos korlátokkal, de működőképes. A korlátok közül a pozicionálási pontosság és az elérhető repülési idő az, amivel foglalkozni kell. A problémák megoldásait ipari környezetben és a specifikus igényeknek megfelelően kell tesztelni, amely hozzájárul a rendszer hatékony működtetésének kialakításához.

Tartalom

1. BEVEZETÉS.....	3
2. DRÓNOS LELTÁROZÁS SZÜKSÉGESSÉGE ÉS ELŐNYEI	4
3. SZOFTVERES MEGVALÓSÍTÁS	5
3.1 VIZUÁLIS ODOMETRIA ÉS SLAM	5
3.2 VIZUÁLIS POZÍCIÓ MEGHATÁROZÁS REALIZÁCIÓJA	7
3.3 MAVLINK PROTOKOLL	9
3.4 FIRMWARE-REL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK	11
3.5 IRÁNYÍTÓ PROGRAM LEÍRÁSA.....	12
3.6 BIZTONSÁGI INTÉZKEDÉSEK SZOFTVERES OLDALON	17
4. HARDVERES MEGVALÓSÍTÁS.....	17
4.1 UAV RENDSZEREK HARDVERES FELÉPÍTÉSE.....	18
4.2 VÁZ ÉS MECHANIKAI SZERKEZET	19
4.3 ZED KAMERA ÉS OPTIKAI NAVIGÁCIÓ ALKALMAZÁSA DRÓNOKHOZ.....	20
4.4 REPÜLÉSVEZÉRLŐ EGYSÉG (FLIGHT CONTROLLER) ÉS (ESC)	21
4.5 MOTOROK ÉS MEGHAJTÓRENDSZER	23
4.6 SZENZOROK ÉS KAMERARENDSZEREK.....	25
4.7 ENERGIAELLÁTÁS ÉS AKKUMULÁTOROK.....	26
5. JÖVŐBELI FEJLESZTÉSI IRÁNYOK ÉS TECHNOLÓGIAI TRENDK	27
6. FIZIKAI REALIZÁCIÓ TESZTELÉSE.....	28
7. ÖSSZEGZÉS	29
IRODALOMJEGYZÉK.....	31
ÁBRAJEGYZÉK	33

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb teret kapnak a kisméretű automata UAV (Unmanned Aerial Vehicle.) rendszerek és ezek ipari felhasználhatósága. Egyik ilyen felhasználási lehetőség a beltéri leltározás megvalósítása. Leltározás alatt egy raktárba rendezett polc sorok és oszlopokba nagy mennyiségű dobozokban tárolt árucikkek megszámlálását értjük a dolgozat során (magával a termék azonosítással ez a dolgozat nem foglalkozik). A leltározás azért kézenfekvő az automatizálásra, mert eleve egy strukturált rendszerrel dolgozik. Mivel az egyes elemek egy raktárban rendezett sorokban és oszlopok helyezkednek el. A strukturáltság mindig könnyebbé teszi a leltározást, hiszen az egyes elemek csak előre meghatározott pozíciókat foglalhatnak el. Egy ilyen rendszer felügyeletére és elemeinek számon tartására optimális egy UAS (Unmanned Aircraft System). Ennek okai, hogy egy drón a tér mind 3 irányában képes mozgást végezni vagy bármely pontján pozícióját, a fizikai határain belül, továbbá különböző kiegészítő felszerelések segítségével képes informatikai rendszerrel való folyamatos két irányú kommunikációra. Vagyis az UAV ezen tulajdonságai következtében képes, az adott feladatot gyorsabban, pontosabb, nagy biztonsággal és gazdaságosabban elvégezni, mintha ugyanezt egy adott személynek vagy csoportnak kellene végre hajtani. Továbbá ennek következtében az emberi terhelés is csökken, illetve áthelyeződne az UAS karbantartására, ellenőrzésére. Ilyen jellegű teljesen autonóm rendszerek alkalmazása mégsem terjedt el széles körben, mert a most felelhető rendszerek vagy adatfeldolgozásban, vagy a beltéri navigációban szenvednek hiányt. Egy erre a feladatra kialakított UAS-sal szemben támasztott követelmények a biztonságos és megbízható GPS mentes navigáció, kis fizikai méret a könnyebb és szélesebb körben való alkalmazás miatt, valamint adatfeldolgozás és küldés a külső adatbázis felé. Ezek a követelmények nem teljesíthetetlenek külön-külön, de együttes és egy idejű megvalósításuk komoly problémát okoz. Ebből következik, hogy a dolgozat két nagy elviekben ellentmondó részre bontható a szoftveres, illetve hardveres problémákra és megoldásaikra. Mivel szoftveres oldalról kompromisszumokat kell kötni a számítási teljesítmény terén a súly és méret korlátoltsága miatt. Míg hardveres szempontból ki kell elégíteni a szoftveres követelményeket úgy, hogy az UAS továbbra is repülő képes maradjon megfelelő üzemidő mellett úgy, hogy közben fizikai kiterjedései minimalizáltak maradjanak. Szoftveres szempontból 3 nagy probléma köré csoportosítható meg. Ezek a GPS (Global Positioning System, globális helymeghatározó rendszer) nélkül környezetben való helymeghatározás és navigáció, az UAV FC(Flight Controller, repülés vezérlő) firmwarevel való kommunikáció biztosítása, a harmadik pedig a drón irányító szoftverének

beparaméterezése. Hardveres szempontból kulcsfontosságú, hogy a szerkezet kis súllyal rendelkezzen és tartós legyen emellett fontos a motorok teljesítménye, azok túlmelegedésének megoldása mivel a túlmelegedett motor kárt okozhat önmagában és a vázban is. Emellett a drón GPS-t nem fog használni, ezért a tájékozódását más érzékelőkkel kellett támogatni például ZED mini kamera és LiDAR-ok felszerelésével. Mindezek mellett az üzemidőt is szem előtt kell tartani ezért fontos, hogy az akkumulátort úgy tervezzük meg, hogy megfelelő teljesítmény leadásra legyen képes, kellően nagy kapacitás mellett. A drón irányításához pedig egy olyan repülésvezérlőt kellett találnunk, ami kompatibilis volt az általunk tervezett váz és szoftver verzióval.

2. Drónos leltározás szükségessége és előnyei

A leltározás automatizálásának szükségessége egyre nagyobb szerepet kap a modern vállalatok életében. A manuális leltározás időigényes, hibalehetőségekkel teli folyamat. Az automatizált rendszerek bevezetése nemcsak a hatékonyságot növeli, hanem a vállalat erőforrásainak optimalizálását is lehetővé teszi.

Először is, az automatizálás jelentősen csökkenti az emberi hibák kockázatát. A kézi adatbevitel és a fizikai ellenőrzés során gyakran fordulhatnak elő pontatlanságok, amelyek torzíthatják az eredményeket és hibás készletadatokhoz vezethetnek. Egy automata rendszer valós idejű adatokat szolgáltat, melyek pontosabbak és megbízhatóbbak, így a vállalatok mindig naprakész információkkal rendelkezhetnek készleteikről.

A drónos leltározás egy innovatív és egyre elterjedtebb technológia, amely számos előnyt kínál más automatizálási formákkal szemben. Az egyik legnagyobb előnye az UAS-osoknak a rugalmasságuk és a sebességük. Ahelyett, hogy statikus szenzorokat vagy beépített rendszereket kellene használni, amelyek telepítése költséges és időigényes. A drónok gyorsan és hatékonyan képesek átrepülni a raktárak polcai között, és valós időben végeznek készletellenőrzést. Ezáltal a leltározás folyamata sokkal gyorsabbá válik, ami különösen nagy mennyiségű készlet esetén kritikus. Az általuk végzett munka különösen nagy raktárakban, logisztikai központokban vagy nehezen megközelíthető helyeken bizonyul rendkívül hatékonynak.

A drónok további előnye, hogy képesek olyan területeket is elérni, amelyeket más rendszerekkel nehéz vagy lehetetlen lenne. Magas polcok, szűk helyek vagy nehezen hozzáférhető részek is egyszerűen ellenőrizhetők anélkül, hogy emberi beavatkozásra vagy kiegészítő infrastruktúrára

lenne szükség. Ezáltal csökken a munkavállalók fizikai kockázata, hiszen nincs szükség magas polcok megmászására vagy veszélyes helyekre való belépésre.

Továbbá a drónos rendszerek integrálhatók fejlett szenzortechnológiákkal, mint például RFID (Radio Frequency IDentification, rádiófrekvenciás azonosító) olvasók, lézeres szkennerek vagy kamerák. Ez a sokoldalúság megkülönbözteti a drónokat más automatizált rendszerektől, amelyek gyakran egyetlen technológiára építenek.

A drónok alkalmazása a leltározás során gyorsaságot, rugalmasságot és hozzáférhetőséget kínál, miközben csökkenti a költségeket és a kockázatokat. Ezért egyre inkább előnyben részesülnek más automatizált megoldásokkal szemben, különösen komplex és nagy volumenű környezetekben

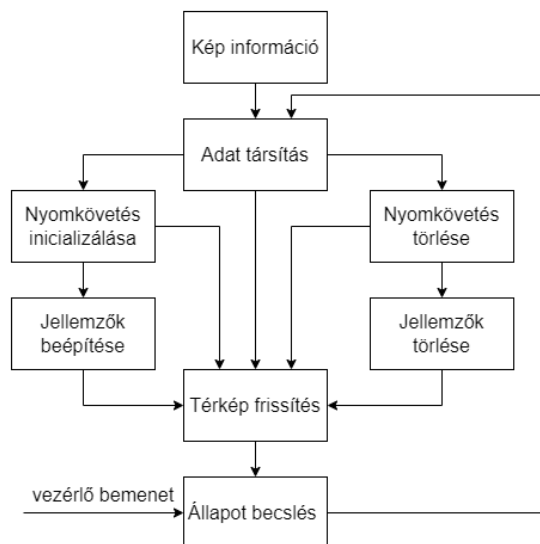
3. Szoftveres megvalósítás

A dolgozat ezen része egy leltározó UAS-val szemben támasztott szoftveresek követelményekre tér ki. Ennek során bemutat különböző GPS nélküli helymeghatározásra alkalmas optikai elven alapú megoldásokat. Majd a későbbi fejezetekben tér ki, mind a hardver közeli, mind a magasabb rendű irányításbeli követelményekre és azok megvalósításaira. Végül a szoftveresen megvalósítható biztonsági intézkedésekre mutat példákat.

3.1 Vizuális Odometria és SLAM

A vizuális helymeghatározásnak kettő gyakran alkalmazott algoritmusa van, a VO (Vizuális Odometria) és a SLAM (Simultaneous localization and mapping).

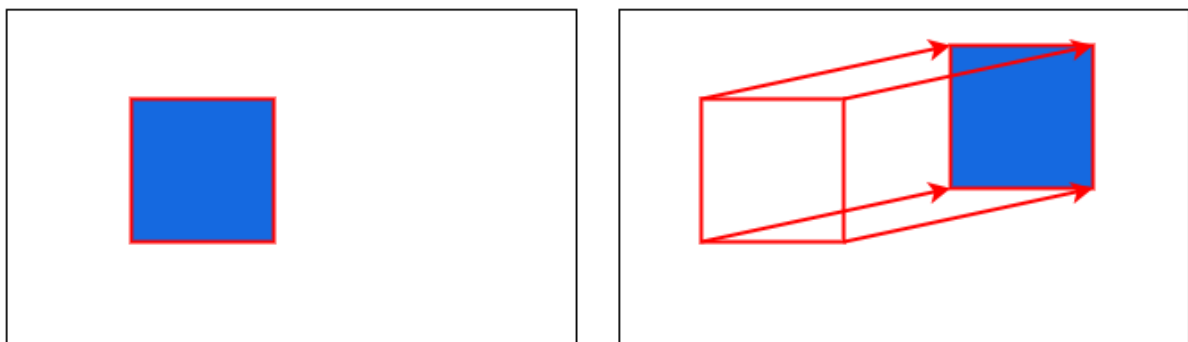
A SLAM algoritmus előre meghatározott és betöltött kép információk alapján végzi a navigációt és a helymeghatározást. Ezt úgy valósítja meg, hogy a feltöltött kép adatbázis elemeinek helyzete ismert így ezeket az elemeket keresi az eszköz által látott szemszögből. Találat esetén a látott és a referencia kép különbségéből, valamint a referencia kép pozíciójából következtet az algoritmus az azt futtató eszköz jelenlegi helyzetére. Ezt a működést szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra SLAM algoritmus működését szemléltető ábra
Forrás: saját ábra, [1] alapján

Ez a megoldás számunkra nem ideális mert ez azt jelentené, hogy minden egyes útvonalat, amin végig kell haladni az UAV-nak előzőleg végig kellene járni és megfelelő távolságonként képeket készíteni, majd ezek eltárolni. Továbbá ezt a folyamatot minden alkalommal meg kellene ismételni valahányszor változás lép fel a referencia képek helyén ezzel a rendszer elvesztené beüzemelésének egyszerűségét és univerzalitását.

Ezzel szemben a VO nem igényel semmilyen előzetes adatot, mert ennek az algoritmusnak az alapja több egymás utáni időben eltolt képinformáció közötti változás detektálása. A VO képek között keres megegyező objektumokat, pixel halmazokat és ezek helyzetének vagy orientációjának változásából következtet az eszköz pozíciójának megváltozására. Ennek folyamán képes például 2.ábrán bemutatott szemléltető módszerrel következtetni arra, hogy az eszköz balra és lefele mozdult el a példa esetében. Ezáltal ez a megoldás nem igényel semmilyen előzetes ismeretet az adott területről, így bárhol univerzálisan alkalmazható megoldás bármilyen módosítás nélkül.



2. ábra VO működését szemléltető ábra
Forrás: saját ábra

3.2 Vizuális pozíció meghatározás realizációja

GPS nélküli környezetben való pozíció meghatározásra több fajta megoldás létezik. Ezen megoldások közül az vizuális alapú megoldás alkalmazása mellett döntöttünk, mert ez fajta megvalósítás igényli a legkevesebb plusz hardver elem beszerzését és telepítését, miközben univerzális megoldást kínál szinte minden környezetre.

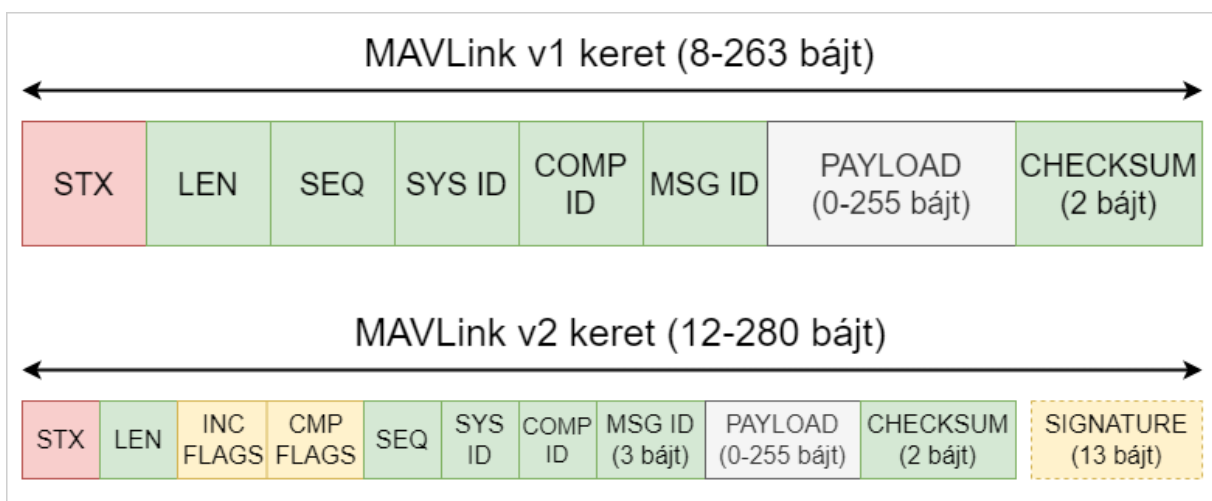
Két fő vizuális helymeghatározás algoritmus alkalmas a feladatra ezek működése a 3.1 Vizuális Odometria és SLAM fejezetben van kifejtve. Leltározási feladatra az ott említett indokok miatt a vizuális odometria használata az optimális. Vizuális odometria realizációja megvalósítható mind mono, mind sztereó kamera segítségével. Mindkettő rendszer képes pozíció meghatározásra. A két kivitelezés közötti különbség az, hogy a monokuláris kamera esetén valamilyen kiegészítő szenzorok használatára van szükség a pontos mélység adat meghatározásához. Mivel az ilyen kamerák esetén dimenzió vesztes esete áll fent, mert 1 darab 2 dimenziós képből képez le 3 dimenziós pozíciót, így a mélység információ pontatlan lesz. Ezen probléma nem áll fent sztereó kamera használata esetén. Mivel 2 darab 2 dimenziós képből dimenzió vesztes nélkül elő állíthatók 3 dimenziós helyzet adatok. Ez a megvalósítás ugyanazon az elven alapul, amelyen az emberi szem is a kép alkotás során. Egy ilyen sztereó kamerás rendszer felépítését és működését írja le a [2] cikke. Cikk azzal foglalkozik, hogy hogyan kell egy ilyen 2 kamerás rendszer felépíteni, működtetni, bekalibrálni. Az esetükben 2 darab GoPro 4 típusú akció kamerát rögzítettek egy 1 méter hosszú rúd két végére. Leírás ki tér a két kép rögzítésre alkalmas eszköz előnyére. Kiemeli a pontosság és a felbontó képesség viszonyát is, miszerint minél nagyobb felbontásba dolgozzuk fel a látható teret annál több pixel felel meg egy adott egység hosszának, így annál részletesebben tudjuk azt vizsgálni, ezáltal annál pontosabb mérési eredmények kapunk. Végző soron a forrás bebizonyítja, hogy sztereó kamerák használata esetén nincs szükség kiegészítő szenzor alkalmazására, hiszen ilyen kivétel esetén nem tapasztalható probléma a mélység információ meghatározásában a 3 dimenziós kép alkotás miatt.

Gyakorlatban egy UAV-nak nincsen végtelen nagy teherbírása és elektromos töltés tárolási képessége sem, így szoftveres szempontból kompromisszumokat kell kötni. A kompromisszumok főbb szempontja a kamera rendszer és a hozzátartozó feldolgozó egysége fizikai kiterjedés, tömege és teljesítmény felvétele. Ezeket az aspektusok kell oly módon minimalizálni, hogy közben a rendszer robusztussága és pontossága elfogadható határokon belül maradjon.

Ezen kritériumokat figyelembe véve a választás egy ZED mini sztereó kamerára és egy Nvidia Jetson Xavier NX feldolgozó egységre esett. A kamera részletesen a 4.3 ZED Kamera és Optikai Navigáció Alkalmazása Drónokhoz fejezetben lesz kifejtve. A ZED legkönnyebben Python programozási nyelvben használható, hiszen saját szoftverének telepítése után csak a megfelelő Python csomagot kell beemelni és már fel is használható pozíció meghatározásra a megfelelő parancsok kiadás után. Ezáltal a többi programozási feladatra is a Python nyelv válik preferáltá, amely a későbbiek fejt ki hatását. A másik, de talán nagyobb lehetőség beszűkítés, hogy működéséhez CUDA (Compute Unified Device Architecture) magokra van szükség. Ezek magok kifejezetten párhuzamos képfeldolgozási műveletek felgyorsítására vannak kifejlesztve és csak is NVIDIA-s eszközökben találhatók meg. Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy vagy NVIDIA által gyártott fejlesztői eszközre, vagy pedig NVIDIA videokártyával felszerelt számítógépre lesz szükség a ZED mini működtetéséhez. A feladat mi voltából adódóan az NVIDIA Jetson fejlesztő eszköz sorozata az optimális választás. A sorozat eszközeinek összehasonlításáról szól a [3] cikk. A tanulmány összehasonlítja a Jetson TX2, Jetson Xavier NX és a Jetson Xavier AGX platformok kifejezetten vizuális helymeghatározás szempontjából. Az összehasonlítás kiterjed mind az egy, mind a két képrögzítő egységgel ellátott rendszerekre. Az összehasonlítás több fajta algoritmus esetén vizsgálja az összehasonlítandó tárgyakat. Végeredménye szerint, az egy kamerás rendszerekhez a régebbi Jetson TX2-es eszköz az ideális, mivel ezen megvalósítások kisebb erőforrást igényelnek a sztereó társaikkal szembe. A két kamerás rendszer esetén a Xavier széria teljesített jobban. A szérián belül is az AGX vagyis a teljesen funkcionális számítógépként alkalmazható NVIDIA saját gyártású fejlesztő platformja került előnybe, a csak a feldolgozó egységet tartalmazó és harmadik féltől származó befogadó platformot igénylő NX verzióval szemben. A fentebbi kifejtés és érvek következményeként az egy kamerás rendszerrel szemben a két kamerást részesítjük előnyben, így a lehető legjobb számítási teljesítmény elérése érdekében a Jetson Xavier AGX lenne a legjobb választás. Mégis UAS alkalmazásra a Jetson Xavier NX lesz az optimális, hiszen sokkal többet számít a súly és energia fogyasztás minimalizálás, mint a kicsivel jobb számítási teljesítménye AGX verziónak. Végeredményben részletes kutatás és optimalizációs megfontolások következményeként létre jött egy olyan ZED mini sztereó kamerával és NVIDIA Jetson Xavier NX modul tartalmazó feldolgozó egységgel ellátott rendszer, amely elméletben képes egy drón pontos pozíciójának meghatározására GPS jel mentes környezetben kizárólag a kamera kép és egy egyszerű Python program segítségével.

3.3 MAVLink protokoll

A MAVLink (Micro Air Vehicle Link) egy rendkívül hatékony és könnyen használható kommunikációs protokoll, amelyet elsősorban pilóta nélküli légi járművek számára fejlesztettek ki. Széles körben alkalmazható különféle autonóm rendszerek, robotikai alkalmazások és irányítórendszerek területén. MAVLink egy kétirányú protokoll, amely lehetővé teszi a járművek és a földi irányítóállomások közötti adatátvitelt, így támogatva az eszköz irányítását és monitorozását. Fő erőssége a hatékonyságában rejlik, mivel kis adatsomagokkal gyorsan és megbízhatóan képes továbbítani a szükséges információkat. Ezt a hatásfokot a bináris szerializációs adatszerkezetével éri el. A binárisan szerializált adatstruktúra az [4] cikkje szerint jelentősen csökkenti az átvitelre szánt adat méretét más megoldásokkal szemben például: json vagy xml. A művelet lényeg, hogy bármilyen adatszerkezet képes átalakítani egy 1 dimenziós bináris sorrá, majd ugyanezt veszteség nélkül visszafele is elvégezni.



3. ábra MAVLINK csomag szerkezet
Forrás: saját ábra

A protokollon belül két verziót különböztethetünk meg a MAVLink 1.0-át és a MAVLink 2.0-át. Az újabb 2.0-ás verzió kibővített csomag felépítéssel rendelkezik elődjéhez képest, ahogyan ezt az 3. ábra is mutatja. A plusz mezők következtében a csomag minimum hossza 8 bájtól 12 bájtra, míg maximális hossza, pedig 263 bájtól 280 bájtra növekedett. Mind a kettő fajta csomag egy indító (STX, start of text) bájttal kezdődik, amely értéke 0xFD 16-os számrendszerbeli szám. Start bájtot követően a hasznos adatrész méretét tartalmazó hossz (LEN, length) bájt következik, amely 0-255 közötti értéket vehet fel. Utánuk két új az 1.0-ban még nem létező mező található. Az inkompatibilitás zászló (INC FLAGS) és a kompatibilitás zászló (CMP FLAGS). Az inkompatibilitási jelölő, olyan MAVLink könyvtár elemeket jelöl

meg, amelyek meg léte mindenképp szükséges a csomagba foglalt üzenet feldolgozásához. Ezzel szemben a kompatibilitási jelölő egyéb információkat tartalmaz a csomagról például, ha magas prioritást igénylő adatot tartalmaz. Ezek után újabb három mindkét verzióban azonos mező következik. Ezek a szekvencia szám (SEQ), rendszer azonosító és a komponens azonosító. A szekvencia sorszáma a TCP protokollhoz hasonlóan a túl nagy, ezért az átvitel során tördelt adat csomag helyes sorrendben történő helyre állítását teszi lehetővé sorszámozással. A rendszer azonosító és a komponens azonosító, pedig a címzésben játszik fontos szerepet. Az üzenet azonosító számára lefoglalt bájtok száma meg háromszorozódik az újabb 2.0-ás változatban ezzel lehetővé téve 16777216 különböző féle utasítás megkülönböztetését, viszonyításként az 1.0-ás verzióban 256-féle lehetséges. Az azonosítót követi maga az üzenet tartalma, ami 0-255 bájt méretig terjedhet. A MAVLINK 1.0 utolsó mezője, ami a 2.0 utolsó kötelező mezője a protokoll biztonságosságát hivatott növelni ez ellenőrző végösszeggel, amit 2 bájton tárol, ennek kiszámításával lehetséges az üzenet integritásának ellenőrzése. A 2.0-ás protokoll egy plusz opcionális mezőt is tartalmaz, amelyet az inkompatibilitási zászló 0x01 értékével előre kell jelezni. Ez egy plusz aláírási (Signature) mező, amely tovább növeli a kommunikáció megbízhatóságát és biztonságosságát titkos kulcs alkalmazási lehetőséggel.

MAVLink 2.0 protokoll szerkezete robusztus, emiatt megbízható és mind ezek mellett adatstruktúrájának köszönhetően nagyon hatékony is. Mind ezen túl rengeteg olyan, már beépített funkciót támogat, amelyre szükség lehet egy leltározó UAS rendszer létrehozásánál. A MAVLink protokoll elemei kettő nagy csoportra bonthatók üzenetekre (message) és parancsokra (command). Az üzenetek az UAV különböző paramétereink például helyzetének, állapotának monitorozását segítik elő. Ezeket a drón küldi a földi irányító rendszer (GCS, Ground Control System) felé. A másik nagy csoport a parancsok. A parancsokkal valamilyen tulajdonságát tudjuk megváltoztatni a pilóta nélküli légitárgynak, ezeket pedig a földi egység küldi és a légi egység fogadja. Ilyen parancsok segítségével képesek vagyunk a számunkra fontos vizuális pozíció adatok küldésére a drón számára értelmezhető módon és ugyanilyen parancsokkal lehetséges a drón adott helyre történő irányításának a megvalósítása is.

Fent említettekből látszik, hogy a MAVLink 2.0 minden igényt kielégít, amit egy autonóm leltározó UAV-val történő kommunikáció támaszt. További előnye, hogy egy pymavlink nevű csomag segítségével szintén könnyen implementálható Python programozási nyelven. A programozási nyelv egyezés megkönnyíti az Vizuális pozíció meghatározás elmélete és realizációja fejezetben tárgyalt ZED mini kamera által biztosított pozíció adatok repülés vezérlő firmware számára értelmezhető módon történő továbbítását. Ezzel egyszerűsítve a felhasználást.

3.4 Firmware-rel szemben támasztott követelmények

A firmware egy speciális program, amely az eszköz hardverének működését vezérli, ezáltal szűkíti a kiválasztható repülés vezérlők típusát. Olyan köztes réteggént működik, amely a hardvert és a magasabb szintű szoftvereket kapcsolja össze. Ilyen magasabb szintű szoftver a MAVLink protokollt alkalmazó irányító és monitorozó programok. Felhasználási területei lehetnek például a hobbi drónozás, ipari felhasználás vagy kutatási projekt. Emiatt a különböző projektek más-más fajta hardver közeli rendszer szoftvereket igényelnek. Kis méretű autonóm UAV-val végzett leltározás sem kivétel, speciális firmware típust igényel, hiszen egyszerre kell az ipari felhasználást és kisméretű FPV (First Person View) jellegű drónokat irányítását támogatnia. Ezeknek a követelményeknek 2 nyílt forráskódú szoftver felel meg az ArduCopter és a PX4. Mi az ArduCopter mellett döntöttünk, mert ez számunkra jobban ismert és széles körben alkalmazott ez által nagyobb támogatottságot nyújt. ArduCopter a dolgozat megírásának pillanatában 4.5.7-es verziónál tart, de a nagyobb stabilitás érdekében érdekesebb egy régebbi kiforrottabb verziót alkalmazni olyan esetekben, ahol fontos a stabil megbízható működés, ilyen például a 4.5.6-os változat. Ardu irányító szoftver több kiemelkedő tulajdonsággal rendelkezik. Az egyik és talán legfontosabb a megbízhatóság. Ez a szoftver, már több verzióval rendelkezik, így mentes minden fajta „gyermek betegségektől”, mind emellett hatalmas támogató körrel rendelkezik, ami elősegíti a hibák gyors detektálását és a rohamos fejlődést ezzel biztosítva hibáktól mentes működését. Még ennél is fontosabb tulajdonsága, hogy minden olyan elemet tartalmaz, ami elvárható egy leltározó UAV firmware szoftvertől. Kifejtve: MAVLink protokollt alkalmaz, amely hatékony, biztonságos, natívan támogatja vizuális helymaghatározási adatok küldését és fogadását és Python program nyelv alkalmazható a magasabb szintű irányítás megvalósításához. Emellett az ArduCopter széles körben támogat hardveres eszközöket kisebb és nagyobb méretű UAS-ok számára egyaránt. Emiatt különös figyelmet kell fordítani a kezdeti paraméter lista beállítások meghatározás, hiszen nem mindegy, hogy a vezérlőnek egy 2kg-os vagy egy 20kg-os maximális terhelhetőségű eszközt kell irányítania. Továbbá rengeteg autonóm funkcióval rendelkezik a MAVLink protokoll révén. Ezeken túl a drón minden aspektusára vonatkozóan tartalmaz konfigurálási lehetőséget, ennek köszönhetően teljes mértékben az adott feladat által megkívánt követelményekre formálható. Ilyen követelmény egy leltározó UAV esetén a stabil repülés és lassú, hirtelen mozdulatoktól mentes mozgás. A stabil repülés a PID (Proporcionális Integráló Deriváló) szabályzó megfelelő hangolásával érhető el. A PID szabályzó rövid leírását Lőrinc Márton Irányítástechnika című könyvéből idézném: „A PID (Proporcionális Integráló Deriváló) a

napjainkban a legelterjedtebb irányítási algoritmus ipari szabályozókörkben. Képes reagálni az aktuális szabályozási hibára, a múltbeli hibára, illetve a jövőbeli hibára. A múltbeli hibát a hiba integráljával, a jövőbeli hibát a hiba deriváltjával jellemzi. Ennek megfelelően a hibát három csatornán keresztül módosítja: proporcionális, integráló és deriváló csatornán.” [5]. Vagyis mindhárom tengely mentén 3 PID érték meghatározásával könnyen stabilizálható az UAV a PID szabályozási körnek köszönhetően. A hirtelen mozgás elkerülését, pedig az erre a célra kialakított paraméterekkel lehet elérni.

3.5 Irányító program leírása

A leltározási problémának megfelelő kommunikációs protokoll (MAVLink) és firmware (ArduCopter) kiválasztás után szükség van magasabb szintű, de a teljes feladatot maradéktalanul végrehajtó irányító program kidolgozására. Az előző fejezetekben többször említett módon erre egy Python nyelvben megírt kód a legalkalmasabb. Az egész feladat megvalósításhoz két fontos Python csomag köré épül. Egyik a MAVLink kommunikációhoz, a pymavlink [6] nevezetű, a másik a ZED sztereó kamera használatához elengedhetetlen pyzed.sl csomag [7].

A pyzed.sl csomag lehetővé teszi a kamerához kapcsolódást, annak konfigurálást és az által létrehozott adatok kinyerését. Az első lépés a kamerához tartozó kommunikációs csatorna megnyitása és az alapparaméterek beállítása. Ennek első lépése gyanánt létrehozunk egy adatstruktúrát, ami tartalmazza a kamera összes paraméterét és ezek közül konfiguráljuk azokat, amelyek szükségesek a vizuális helymeghatározási képességének kihasználáshoz (4.ábra). Az ily módon inicializált paraméterek a következők: a felbontás automatikus értékre állítása a legjobb teljesítmény elérése érdekében, a koordináta rendszer megadása, ahol egy jobb sodrású lefelé mutató z tengellyel rendelkező lenne az ideális, mert az egyezik a drón által alkalmazott NED (North East Down) rendszerrel, de ilyennel nem rendelkezik a kamera szoftvere, így később majd manuálisan kell a két koordináta rendszert egyeztetni, az utolsó, de talán legfontosabb az alap mértékegység megadása, amely az európai alkalmazást figyelembe véve méter lesz.

camera_resolution	RESOLUTION.AUTO
coordinate_system	COORDINATE_SYSTEM.RIGHT_HANDED_Z_UP
coordinate_units	UNIT.METER

4. ábra Zed mini alapparaméterezése
Forrás: saját ábra

Ezek után az utolsó inicializáló lépés következik, mely során elindítjuk a pozíció meghatározást, vagyis ebben az időpillanatban lévő kamera helyzetet mentjük, mint a koordináta rendszerünk origóját. Emellett egy újabb adatszerkezetet hozunk létre, amiben a kamera futás közbeni paramétereit tároljuk.

Végül egy végtelenített, vagy csak bizonyos gomb lenyomására megszakadó elől tesztelő ciklus segítségével folyamatosan figyeljük a kamera üzeneteit és ha frissülnek a futási paramétere, akkor kiolvassa és feldolgozza az új pozíció adatokat a program (5.ábra). A pozíció adatokat 6 különböző változóba (tx, ty, tz, pitch, roll, yaw) tároljuk el. Ezek tartalmazzák a 3 translációs

```
if zed.grab(runtime_parameters) == sl.ERROR_CODE.SUCCESS:
    os.system('cls')

    # Pozíció lekérése
    zed.get_position(zed_pose, sl.REFERENCE_FRAME.WORLD)

    # Transzláció és időbélyeg lekérése
    ty, tx, tz = translation()

    # Orientáció kvaternion lekérése
    orientation = orient()

    # Kvaternion átalakítása Euler szögekké
    roll, pitch, yaw = quaternion_to_euler(orientation)
```

5

5. ábra Pozíció adatok kiolvasása és feldolgozása
Forrás: saját ábra

és a 3 orientációs helyzetet. Még tárolásuk előtt megtörténik a kamera koordináta rendszere és a drón koordináta rendszere között transzformáció, melynek során a z tengely iránya -1 -el történő szorzás következtében 180° -os elforgatást eredményez és ennek meg felelően az x és y tengelyek felcserélődnek, hogy a transzformált rendszer is jobb sodrású maradjon.

Átalakításokat nem csak a translációs koordinátákon, hanem a rotációsokon is kell végezni, hiszen a szögeket a ZED belső programja kvaterniókként szolgáltatja, míg az UAV firmware Euler-féle szögeket alkalmaz. Az átalakítás műveletét az alábbi 6.ábrán látható képlet írja le [8]. Ahol a kvaterniók sorrendben: q_w , q_x , q_y , q_z . Továbbá az ábrán a ϕ értéke megegyezik a hosszanti tengely menti, a θ értéke a kereszt tengely mentivel, a ψ értéke pedig a függőleges tengely menti elfordulással mértékével.

$$\begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tan^{-1} 2(2(q_w q_x + q_y q_z), 1 - 2(q_x^2 + q_y^2)) \\ \sin^{-1} 2(2(q_w q_y - q_z q_x)) \\ \tan^{-1} 2(2(q_w q_z + q_x q_y), 1 - 2(q_y^2 + q_z^2)) \end{bmatrix}$$

6. ábra Kvaterniók, Euler szögek transzformációs mátrix
Forrás: saját ábra

A következő lépés a vizuális helymeghatározásból kinyert, eltárolt és folyamatosan frissülő adatok az UAV számára értelmezhető módon történő továbbítása. Ehhez a részfeladathoz a megfelelő MAVLink üzenet szükséges és ezzel együtt a pymavlink csomag használata. A felhasználás során első lépés a kommunikációs csatorna megadása, ez a jelen projekt esetén a /dev/ttyACM0-s porttal egyezik meg mivel a Jetson Xavier NX futtatja az irányító programot, ami közvetlenül USB porton keresztül UART kommunikációval kommunikál a repülés vezérlővel és a rajta futó ArduCopter firmware-vel. A vizuális pozíció meghatározáshoz tartozó pozíció adatok küldésére dedikált MAVLink üzenet létezik (VISION_POSITION_ESTIMATE). Az üzenet a következő információkat hordozza magában: egy időbélyeget, x koordinátát (tx), y koordinátát (ty), z koordinátát (tz), hosszanti tengely menti elfordulás szögét (roll), kereszt tengely menti elfordulás szögét (pitch) és a függőleges tengely menti elfordulás szögét (yaw) (7.ábra).

Mező neve	Adattípus	Mértékegység
Időbélyegző (Unix idő)	uint64_t	milliszekundum [ms]
x koordináta	float	méter [m]
y koordináta	float	méter [m]
z koordináta	float	méter [m]
roll elfordulás	float	radián
pitch elfordulás	float	radián
yaw elfordulás	float	radián

7. ábra VISION_POSITION_ESTIMATE üzenet formátuma
Forrás: saját ábra

Következő lépés az irányítás megvalósítása. Irányítás úgy valósítható meg, hogy a SET_POSITION_TARGET_LOCAL_NED parancs segítségével képes a szoftver adott koordinátára irányítani a drónt. A parancs működéséhez a szükséges paraméterek a következők: időbélyegző, rendszer azonosító komponens azonosító, a használt koordináta rendszer, dimenzió ignorálásokat beállító maszk, x, y, z, koordináták ezek menti sebesség és gyorsulás, valamint a függőleges tengely menti elfordulás szöghelyzete és fordulás szögsebessége. Leltározási feladat végrehajtásához ezek nem mindegyike szükséges. Az elengedhetetlen

értékek a következők: időbélyegző, rendszer azonosító, komponens azonosító adottak ezek nem szabadon választhatók, a koordináta rendszer esetén egy relatív NED koordinátarendszer a megfelelő erre LOCAL_NED néven kell hivatkozni, x, y, z a cél koordináták, irányukba történő elmozdulás sebessége és gyorsulás mértéke működéshez nem fontos, biztonság szempontból azonban annál fontosabb szerepet játszanak, így a bitmaszk beállítása két fő szemléletű lehet a sebesség és gyorsulást figyelmen kívül hagyó vagy azokat is figyelembe vevő. Végül a függőleges tengely szöge és szög elfordulás sebessége kritikus, hiszen a leolvasás miatt elengedhetetlen, hogy a kamera mindig a polc sor felé nézzen és ne forduljon el onnan. Ezzel a módszer elkészült egy adott pozícióra történő biztonságos vezérlési metódus.

A teljesen működőképes leltározó irányító programhoz az egymást követő polcok 3 dimenziós koordinátájának összefűzése a következő lépés. Ezt a legegyszerűbb logikával, úgy lehet megvalósítani, ha drón jelenleg helyzetét folyamatosan összehasonlítjuk a kívánt cél pozíció koordinátaival és amikor a két hely információ adott hiba határon belül kerül egymáshoz képest akkor várakozni kezd a program a termék azonosítására, majd következő cél koordináta beállítását hajtja végre. Az előzőben kifejtett folyamat egy újabb üzenet bevezetését igényli, amellyel képes a program lekérni a firmware-től az UAV jelenlegi helyzetét. Ennek megvalósításához a következő általános üzenet lekérő parancsot kell alkalmazni: MAV_CMD_REQUEST_MESSAGE_INTERVAL, amellyel megadható, hogy az eszköz milyen üzenetet küldjön a GCS felé. MAV_CMD_REQUEST_MESSAGE_INTERVAL, mint minden parancs 8 mezővel rendelkezik, de ebből csak az első, második, harmadik és a hetedik mezőt kell adattal feltölteni. Az első mező értékének mindig 0-nak kell lennie az elküldéshez. A második mezőnek lekérni kívánt üzenet azonosítóját kell tartalmazni. A harmadik résznek az üzenetek újra küldése közötti intervallumot ezred másodpercben kell megadni, míg a hetedik mezőnek az üzenet cél kell tartalmaznia 8. ábrán látható módon. Esetünkben a helyi NED koordináta rendszerben levő koordináták szükségesek (LOCAL_POSITION_NED). Az üzenet fogadását és mentését, pedig 9. ábrán látható program kód mutatja be. Az előbb végig vezetett lekérési mód sokkal hatékonyabb más módszer szemben, mert ekkor csak az érkező üzeneteket

kell kezelnie a Python kódnak és nem kell mindig új kérést is küldenie. Ezzel erőforrást megtakarítva mindkét végpont számára.

```
#Pozíció stream indítása 1000us-es intervallummal
connection.mav.command_long_send(
    connection.target_system,
    connection.target_component,
    mavutil.mavlink.MAV_CMD_SET_MESSAGE_INTERVAL,
    0, 32, 1000, 0, 0, 0, 0, 1)
```

8. ábra Üzenet küldésének kérése és ismételt küldés intervallum beállítása

```
msg = connection.recv_match(type='LOCAL_POSITION_NED', blocking=True, timeout=5)
```

9. ábra LOCAL_POSITION_NED üzenet fogadása

A fentebb említett metódusokat implementálva koordináták összehasonlítása szükséges csak a megérkezés detektálásához. Ennek során a drón helyzet koordinátái és a célpont koordinátái által kifeszített vektor hossza egy előre meghatározott hiba határnál kisebb, akkor sikeres az adott pozíció elérése. Ezen megoldás több pontra történő kiterjesztéséhez egy $i * 3$ dimenziójú mátrix szükséges, amelyben i a pontok számával egyenlő, míg a 3 a koordináta értékeket tartalmazza x , y , z sorrendben. Ebben az esetben a célpont elérésekor mindig csak az úgy cél beállítása szükséges. Ilyen formán megvalósítható az előre meghatározott pontok végig járása. Utolsó lépés a várakozás megoldása a termék azonosítás idejére az adott polc előtt. Várakozás megvalósítása egyszerű feladat onnantól, hogy a kód képes érzékelni a cél pozícióba érkezést. Hiszen ettől kezdve minden egyes megérkezést egy újabb belső ciklust kell indítani, ami egész addig fut és közben küldi az aktuális pozíció adatokat, amíg a termék felismerése és adatainak elmentése meg nem történt. Ha ez megtörtént akkor a ciklus nem indul újra és új cél koordináta kerül beállításra és újra az előzőekben tárgyalt külső fő ciklus veszi át a szerepet egészen a következő cél koordinátára megérkezésig. Ebből látszik, hogy ez a folyamat akár meddig folytatható, amíg van következő koordináta vagy az UAV fizikai korlátjai engedik.

Az 3.5 Irányító program leírása fejezetben megtárgyalt leírás végeredménye egy olyan kód, amely képes egy $i*3$ -as mátrix alkalmazásával végig járni előre meghatározott koordinátákat, úgyhogy közben ugyanez a program szolgáltat vizuális pozíció adatokat a firmware számára.

3.6 Biztonsági intézkedések szoftveres oldalon

Autonóm leltározásai rendszerek esetén mindig kiemelt szempont az eszköz jelentette biztonsági kockázatok minimalizálása. Általánosságban nem elengedő az, hogy egy UAS elvégezze azt a feladatot, amire létrehozták, hanem mindezt lehető legbiztonságosabban hajtsa végre. Egy autonóm UAS több biztonsági kockázatot is rejt magába, mivel működésére nincs közvetlen hatással semmilyen személy. Továbbá az UAV eszközök képesek nagy sebességgel, akár nagy súllyal nagy magasságokban közlekedni. Ezért fontos ezen tulajdonságainak bekorlátozás. Nagy magasság és súly hardver szinten könnyen korlátozható bizonyos kereteken belül, míg a további veszélyes paraméterekre szoftveres megoldás létezik. A szoftveres korlátozások megvalósítható, mind hardver közeli, mind magasabb szintű irányítás terén.

Elsőként a hardver közeli korlátozás lehetőségek bemutatása következik. Az ArduCopter firmware széles körben nyújt korlátozást a drón paramétereire. Ilyen korlátozásokkal lehet határolni, az eszköz maximális mozgási sebességét mind a 3 tengely menetén és akár a motorok által leadott maximális teljesítményt is. Korlátozásokon túl biztonsági funkciók is beállíthatók. Ezen biztonsági funkciók közül emelnék ki néhányat: motor indítás előtti részletes ellenőrző lista, amely során saját rendszer tesztet futtat le az UAV; az akkumulátor töltöttségi szintjének figyelése és alacsony töltöttség esetén automatikus közbe avatkozási lehetőségek; stb.

Magasabb szintű irányítási szempontból a Python programba alkalmazható és igencsak hatékony biztonsági megoldás az azonnali motor leállítás utasítás. További biztonság növelő tényező a ZED kamerától érkező pozíció adatok ellenőrzés, amely eljárás során az előző és jelenlegi értéket folyamatosan összehasonlítja a program és ha az eltérés egy küszöböt meghalad, akkor nagy valószínűséggel pozíció vesztes lépett fel ekkor azonnali leszállási parancsot ad ki. A fent említettek csak néhány kiemelt példa a sok közül. Rengeteg és többszintű biztonsági rendszer alakítható ki kizárólag szoftveres úton, amelyek elősegítik mind az UAS közelében dolgozók testi épségének megóvását, mind az eszköz megvédését detektálható üzem hibák esetére.

4. Hardveres megvalósítás

Ebben a részben a drónok általunk is felhasznált hardveres elemek felépítését és annak részeit, működését fogom általánosságban bemutatni. A bekezdésekben kitérek, hogy ezeket az elemeket mi hogyan alkalmazzuk a készített drón felépítésében. Ezek után jövőbeli drónfejlesztésekre térek ki mind általánosságban és az általunk tervezett fejlesztésekre.

4.1 UAV rendszerek hardveres felépítése

Az UAV (Unmanned Aerial Vehicle) rendszerek hardvere kulcsszerepet játszik a drónok teljesítményében és funkcionalitásában. A repülésvezérlők, motorok, érzékelők, energiaellátó rendszerek és kamerák együttes működése biztosítja a drónok autonóm működését, stabilitását és navigációs képességeit. Ezek az elemek a repülési képességek biztosítása mellett környezeti információk gyűjtését is lehetővé teszik, így egyre elterjedtebbé válnak az ipari, mezőgazdasági, logisztikai és biztonsági alkalmazási környezetekben. A modern drónokban található érzékelők, mint például a LiDAR és a sztereó kamerák, képesek részletes térképek készítésére és a környezet valós idejű elemzésére. A repülésvezérlő rendszerek pedig a drón helyzetét és mozgását képesek szabályozni, lehetővé téve a hatékony navigációt GPS jel hiányában is. Az energiaellátás terén a lítium-polimer akkumulátorok dominálnak mivel magas energiasűrűséggel rendelkeznek, stabil feszültségen tudnak működni, kisebb helyen is elférnek és viszonylag alacsony költséggel gyárthatók. Ezek az összetett hardverelemek teszik ki a drón működésének alapköveit, és a technológiai fejlődés eredményeként folyamatosan új funkciókkal bővülnek, lehetővé téve a fejlettebb autonóm rendszerek kialakítását, amelyek új lehetőségeket kínálnak a jövő számára.

4.2 Váz és mechanikai szerkezet



10. ábra Drón váz

Forrás: saját ábra

A drónok vázának kialakítása és mechanikai szerkezete lényegesen befolyásolja a teljesítményt és a stabilitást. Az általunk tervezett drón alapja egy 4 karú 7 inch-es FPV váz 10. ábrán látható, ami könnyű manőverezhetősége miatt került kiválasztásra, valamint optimális aerodinamikai tulajdonságokkal rendelkezik. Ez a 7"-s négykarú dizájn nem csupán a súlyeloszlást javítja, hanem elegendő teret is biztosít az olyan fontos hardverelemek, mint a kamerák és érzékelők elhelyezésére. A váz anyaga karbon kompozit, mely nemcsak könnyű, hanem rendkívül erős is. A karbon lehetővé teszi, hogy a drón könnyedén emelkedjen és precízen manőverezzen, miközben megőrzi szilárdságát. Ezen túlmenően, a karbon váz rezgéscsillapító tulajdonságai jelentős mértékben fokozzák a drón stabilitását, különösen a repülés közben fellépő dinamikai terhelések alatt. A karbon kompozitok magas energiasűrűsége tehát tartós és könnyű ezáltal a drón felszállását megkönnyíti mivel kevesebb súllyal kell emelkedni és levegőben maradnia. Ezért a váz és ezáltal a drón karbantartása hosszú távon kevesebb költséget jelent mivel esetleges zuhanása vagy ütközés esetén kisebb az esély, hogy a kar eltörik. A tervezés során figyelembe vett egyedi szempont, hogy az 5 inches propeller lefelé nézzen mivel a tervezés során arra a következtetésre jutottunk, hogy a drón legtöbb perifériáját a tetejére helyezzük el mivel így tudtuk a térkihasználást a vázon a legjobban kivitelezni. Ezzel a megoldással hardver elemek, amik alapból elég nagy helyet foglalnának például a ZED kamerának és az NVIDIA Jetsonnak is kellően nagy helyet biztosít. Az alacsonyabb profil hozzájárul a drón stabilitásához, valamint lehetővé teszi a pontos navigációt, mivel a propellerek nem zavarják a környezeti érzékelők működését. A váz és a propeller elhelyezésén kívül a tervezési folyamat során figyelembe kellett venni a következő tényezőket: a váznak és a propellereknek

összehangoltan kell működniük, hogy minimalizálják a légellenállást és maximalizálják a repülési teljesítményt. A lefelé néző propellerek révén a légáramlás optimalizálódik, ami csökkenti a turbulenciát és javítja a drón stabilitását. A váznak úgy kell kialakulnia, hogy a drón súlypontja a lehető legközelebb legyen a középpontjához. Ez elengedhetetlen a stabil repülés kivitelezéséhez, és a karbon anyag könnyedsége lehetővé teszi, hogy a súlypont optimálisan pozícionálható legyen. A váz kialakítása lehetővé teszi a különböző komponensek gyors cseréjét és karbantartását. Ez előnyös mivel, ha esetleg megsérülne valami vagy esetleg új komponens kerülne rá vagy fejlesztés történne akkor gyorsan lehet cserélni az elemeket anélkül, hogy szét kellene szedni az egész vázat. Ezek a tényezők összességében meghatározzák a drón vázának és mechanikai szerkezetének hatékonyságát, lehetővé téve a sokoldalú alkalmazhatóságát.

4.3 ZED Kamera és Optikai Navigáció Alkalmazása Drónokhoz



11. ábra Zed mini kamera

Forrás: saját ábra

A ZED mini sztereó kamera 11. ábra látható a kameráról szerzett információkat a [9], [10], [11] cikkekből és a [2] cikkben olvasottak alapján írtam, e kamera segítségével meg tudunk alkotni egy olyan autonóm UAV-ot mely képes pozíció meghatározásra a GPS által lefedetlen vagy zárt terekben, ahol a hagyományos helymeghatározás nem lehetséges vagy korlátozott. Ez a kamera nem csupán egy optikai szenzorként, hanem inkább a drón fő helymeghatározó és pozicionálójaként funkcionál, amely a két objektívje által rögzített, különböző szögű képek alapján háromdimenziós térképet épít. Ezek az eltérő képek, mélységi adattá transzformálódnak mely precíz helyzet- és távolságinformációkat szolgáltatnak a drón számára. Ezáltal az eszköz képes akadályokat felismerni, navigálni, irányíthatóvá vált, és pontosan manőverezhetővé. A sztereó képalkotási technológia az autonóm drón számára egyfajta "belső GPS" funkciót valósít meg, amely lehetővé teszi a valós idejű helymeghatározást, pozíciókövetést, és mindezt külső

jeladók nélkül. Ez a technológia különösen nagy jelentőségű a raktárakban vagy gyártóüzemekben, ahol a drónoknak folyamatosan adaptálódniuk kell a folyamatosan változó környezethez és benne lévő várt vagy váratlan akadályokat kerülve és emellett pontosan követve a megadott útvonalakat képes legyen végrehajtani, emiatt szükséges a szoftveres részben kifejtett vizuális odometria használata a SLAM algoritmussal ellentétben. A kamera által rögzített optikai adatok folytonos lekérése által ez létrejött 3D képpel biztosítani lehet, hogy az UAS az aktuális környezethez igazodva, biztonságosan és pontosan hajtsa végre a leltározási és egyéb feladatokhoz tartozó manővereket. A Zed mini kamera legfőbb szempontjai, ami miatt kiválasztásra került az, hogy szoftveres szempontból az ideális kamera rendszer egy sztereó kamera rendszer. Amely a lehető legnagyobb felbontásban és a lehető legtöbb képet készíti másodpercenként (FPS frame/second). Mivel ezek a paraméterek a legfontosabbak, a felbontás a pontosságot javítja, míg az FPS a gyorsabb mozgások detektálását segíti elő. Ezeknek a szempontoknak teljesen megfelelt és az ára is az a megadott keretek között volt. Szoftveres szempontból pedig kellően pontos, saját szoftver csomaggal rendelkezik, aminek köszönhetően csereszabatos és könnyen beüzemelhetővé válik. Ellenben előnyei mellett kettő korlátozást is hordoz magával. Az egyik ilyen, hogy legkönnyebben Python programozási nyelvben használható, hiszen a saját ZED szoftver telepítés után csak a megfelelő Python csomagot kell beemelni és már készen is áll a pozíció meghatározásra. Ezáltal a többi programozási feladatra is a Python nyelv válik preferáltá, amely a későbbiek fejt ki hatását. A másik, de talán nagyobb lehetőség beszűkítés, hogy működéséhez CUDA (Compute Unified Device Architecture) magokra van szükség. Ezek magok kifejezetten párhuzamos képfeldolgozási műveletek felgyorsítására vannak kifejlesztve és csak is NVIDIA-s eszközökben találhatók meg. Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy vagy NVIDIA által gyártott fejlesztői eszközre, vagy pedig NVIDIA videokártyával felszerelt számítógépre lesz szükség a ZED mini működtetéséhez

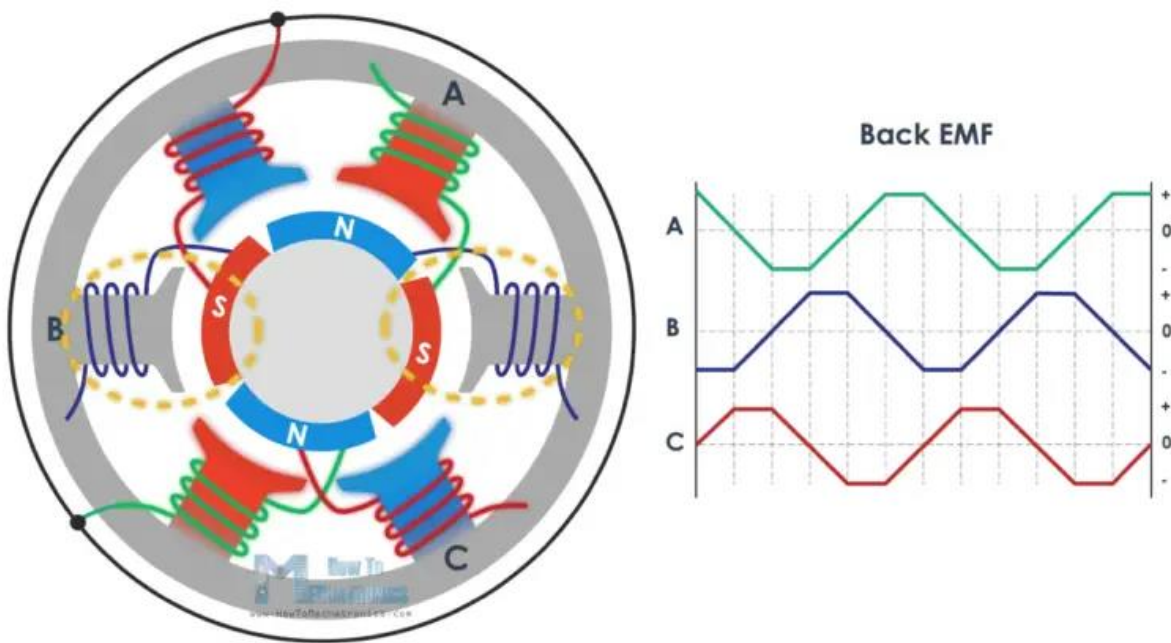
4.4 Repülésvezérlő egység (Flight Controller) és (ESC)

A drón repülés vezérlőének (Flight Controller) a SpeedyBee F405 V3 lett kiválasztva mivel súlyban és méretben ez megfelelő volt. Továbbá kompatibilis a vázzal ezek mellett fontos szempont volt a sorosportok száma, aminek szintén megfelelt. Ez a vezérlő felelős a motorvezérlő irányításáért, a repülés stabilitásáért, ezek mellett pedig feldolgozza a környezetből érkező adatokat és dinamikusan alkalmazkodik a változó repülési

körülményekhez. Az FC felépítése középpontjában az STM32F405 mikrokontroller található, amely felelős a beérkező szenzoros adatok feldolgozásáért és kiegyensúlyozásáért. Ez a mikrokontroller képes kezelni a giroszkópból, gyorsulásmérőből és egyéb telemetriai forrásokból származó adatokat akár turbulens környezetben is ezzel az eszköz stabilitását megtartva ilyen veszélyes körülmények között. Az FC egyik nagy előnye a beépített Bluetooth-támogatás, amely megkönnyíti és rugalmasabbá teszi a repülés vezérlő beállítását és hangolását. A mobilalkalmazással pedig lehetőséget nyújt a vezetékek nélkül a PID-értékeket (arányos-integrál-derivál), repülési módok és más paramétereket módosítására akár terepen is. Az FC igen precíziós irányítást garantál, amelyet fejlett stabilizáló mechanizmusokkal ér el. Beépített giroszkópja és gyorsulásmérője folyamatosan figyeli a drón helyzetét és mozgását eközben gyors számításokat végezve a motorok sebességének beállításához. Ez a negatív visszacsatolási rendszer stabilizálja a drónt és lehetővé teszi a finoman hangolt kezelhetőségét. A vezérlő kompatibilis a BLHeli_32 elektronikus motor sebességszabályzóval (ESC) mely simább és precízebb motorvezérlést biztosít ez különösen előnyös a nagy sebességű manőverek vagy magasságváltások során. A vezérlővel együtt használt karbon kompozit váz tovább növeli a stabilitást azáltal, hogy csökkenti a rezgéseket, amelyek ronthatják a szenzorok pontosságát. Az FC nagy modularitással rendelkezik így könnyen lehet integrálni különféle GPS-modulokat, telemetriás rendszereket és kamerákat. Ezzel lehetővé téve a drón személyre szabását amire a drón hardveres kialakításánál szükség is volt. A vezérlő programozható biztonsági funkciókkal rendelkezik, amelyek szükségesek például jelvesztés vagy alacsony akkumulátorszint esetén. A vezérlő ilyenkor beprogramozható úgy, hogy visszatérjen a kiindulópontához, lebegjen vagy leszálljon, így védve a drónt és a környezetet is.

4.5 Motorok és meghajtórendszer

A Kefe nélküli egyenáramú motor (BLDC) motorok kiemelkednek energiahatékonyaságukkal és sűrűségükkel, ami elengedhetetlenné teszi őket a mai mechanikai alkalmazásokban. A BLDC motoroknak két típusa van a külső rotoros és belső rotoros mi a külsőrotoros verziót alkalmazzuk.



10. ábra BLDC motor forrás: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/>

A BLDC motorokban nincsenek kefék. A kefék a klasszikus DC motorokban az áramot juttatják a forgórész tekercseihez a kommutátor segítségével. A BLDC motorok azonban elektronikusan kommutáltak, ami azt jelenti, hogy a forgórészt körülvevő tekercseket elektronikus vezérlő kapcsolja, nem mechanikus kefék ahogy a 12. ábrán látható. Ennek előnyei közé tartozik a hosszabb élettartam, a kisebb karbantartási igény, a csendesebb működés és a hatékonyabb energiafelhasználás. A teljesítményük optimalizálható az ESC-kre alkalmazott feszültség változtatásával, ami lehetőséget ad arra, hogy maximálisan ki lehessen használni a motorok kapacitását. A BLDC motorok hőmérsékletének emelkedése komoly problémákat okozhat például a drón irányításának elvesztését vagy akár baleseteket is eredményezhet. A motorok és propellerek közötti interakció és kompatibilitás kulcsfontosságú a drón teljesítményének maximalizálása érdekében. A propellerek a motorokhoz kapcsolódva generálják a felhajtóerőt ezzel ellensúlyozva a gravitációerőt. Az optimális aerodinamikai tulajdonságok fontosak mivel

a motorok effektívebben tudnak működni a légellenállás minimalizálásával és a drón súlyának csökkentésével is csökkenthetjük a motorok terheltségét ezzel csökkentve a meghibásodások lehetőségét. A motorok hőmérsékletének folyamatos monitorozása fontos a biztonságos üzemeltetéshez mivel túlmelegedés során a motor belsejében található tekercsek szigetelőanyaga leolvadhat vagy tönkre mehet ez rövidzárlatot vagy nyitott áramkört okozhat. Az anomáliadetektáló rendszerek, például a DS18B20 hőmérsékletérzékelők alkalmazása, segíthet a motorok hőmérsékletének nyomon követésében ezzel megelőzve lehetséges meghibásodást. Amennyiben a hőmérséklet egy bizonyos küszöbérték fölé emelkedik a mi motorunk esetében az átlagos működési hőmérséklet körülbelül 60-70 °C között mozog efelett a drón automatikus leszállási folyamatot indít el ezáltal minimalizálva a további külső károk kockázatát. A BLDC motorok esetében a hagyományos Hall-effektus érzékelők nem mindig elég hatékonyak, ezért a visszacsatolt EMF (back-EMF) megfigyelési módszer kerül alkalmazásra a hőmérséklet-ellenőrzés során. Ez a módszer képes meghatározni a rotor pozícióját ezzel képes a motorok hatékonyabb irányítását végezni. A drónok gyakran ütköznek környezeti objektumokkal például ágakkal falakkal vagy oszlopokkal, ami a területi feltételek, vagy akadályérzékelésben fellépő hiba által következik be. Az ütközés utáni helyreállítási algoritmusok kifejlesztése segíti a drónok biztonságos irányítását. Továbbá, a propellervédők használata a mi helyzetünkben általunk specifikusan a drónra tervezett és 3D nyomtatott propellervédőkkel szereltük fel, amelyek védelmet nyújtanak a külső objektumokkal szemben és megvédik a vázat és propellereket az esetleges sérülésektől mivel a propellervédő megsérül azt sokkal könnyebben lehet pótolni, mint a többi alkatrészt ezzel a repülés biztonságát és a drón költséghatékonyságát is növeli. A jövőbeli motor- és propellerfejlesztések során a gyártók célja a teljesítmény javítása, valamint a súly csökkentése. A Halbach mágnesek beépítése például az új generációs motorokba jelentős előnyöket nyújthat a teljesítmény és a hatékonyság terén. Az általunk választott T-Motor F2203 motorok [12] kifejezetten a 5 inches propellerekhez lettek optimalizálva. E motorok kiemelkedően jó, 1,5 kg tolóerőt képesek kifejteni, ami lehetővé teszi a drón dinamikus emelkedését és manőverezését a levegőben. A motorok és a 5 inches propellerek kombinációja ideális megoldást jelent a repülés hatékonyságának növelésére biztosítva a drón stabil működését és manőverezhetőséget az általunk tervezett súly rápakolása után is. A motorok fogyasztása körülbelül 12-30 amper maximális terhelés alatt, ami elég fontos a drón repülési idejének meghatározásához mivel minél kevesebb az áramfelvétel annál hosszabb a repülési idő. Az optimális aerodinamikai tulajdonságok, a hőmérséklet-ellenőrzés és az innovatív megoldások mind hozzájárultak ahhoz, hogy a drón a legkülönbözőbb környezetekben is hatékonyan és biztonságosan működhessen.

4.6 Szenzorok és kamerarendszerek

A drónok autonóm működéséhez elengedhetetlen a megfelelő szenzorok és kamerarendszerek alkalmazása, mivel ezek kulcsfontosságúak a navigációs pontosság és az akadályok elkerülése szempontjából. A tervezett drónban kiemelt szerepet kap a ZED Mini Stereo kamera, amely sztereó technológiát használ a térbeli elhelyezkedés és mélység érzékelésére ennek tulajdonságai már ki lettek fejtve egy korábbi pontban. A ZED kamera mellett egy ArduCam leolvasó kamera is integrálva lett a drónba, amely kifejezetten a képfeldolgozásra optimalizált. Az ArduCam nemcsak a környezeti információk rögzítésére képes, hanem azokat az információkat is feldolgozza, amelyek segítik a drón algoritmusait az akadályok elkerülésében és a tervezett útvonal követésében. Ezen kamerák kombinációja különösen hatékonyá teszi a drón autonóm navigációs képességeit ezzel még biztonságosabbá és pontosabbá téve az UAV repülését. A Benewake TFmini-S mikor LiDAR-ból 4db is fel lett szerelve a drónra navigációs képességei javítása miatt. A LiDAR-ról lévő alábbi információkat a [13] forrás alapján írtam. Az érzékelőket lézerrel való távolság méréshez széles körűen használják. Mivel LiDAR által rögzített térinformáció 1D, 2D, 3D formátumban érhető el míg spektrális információt nyújt a Lézer Visszatérítés Intenzitás révén(LRI).A LiDAR rendszerek komoly fejlődést jelentenek az adatgyűjtés és adatfeldolgozás folyamatokban mivel nagyon pontos adatokat képesek biztosítani. A LiDAR-ok alkalmazása például egy raktározási feladatokat közben a pozícióját pontosabban képes lekövetni mivel három szerkezeti változót vizsgál a polcok magasságát, a tárolt áruk sűrűségét és a szabad tér arányát Az összegyűjtött adatokat lineáris regresszióval elemzik, és grafikus formában, például dobozdiagramokkal ábrázolja. A LiDAR-ral felszerelt drónokat egyéb területeken is előszeretettel használják például az erdő helyreállítási projekteben vagy erdőterület fa sokféleség vizsgálatban és régészetben is elkezdtek őket használni. A drónok egyre növekvő alkalmazása különböző iparágakban a LiDAR technológia fejlődéséhez vezetett a távérzékelési alkalmazásokban. Noha a közelmúltbeli fejlesztések a LiDAR érzékelőket hozzáférhetőbbé és könnyebbé tették, további értékelésre van szükség a drónokkal való kompatibilitásuk meghatározásához, figyelembe véve a rögzítésre való alkalmasság felmérésének felmerülő igényét. Az általunk tervezett drónban a LiDAR rendszernek a feladata, hogy egyértelmű távolságméréseket biztosítson, amely lehetővé teszi a drón számára, hogy pontosan azonosítsa a közvetlen környezetében lévő akadályokat és azok távolságát. A LiDAR érzékelő által nyújtott

információk további részletességet adnak a drón navigációs rendszereinek ezzel segítve feladatukat. A szenzorok és kamerarendszerek integrálása kulcsfontosságú az autonóm drónok fejlesztésében. A ZED kamera, az ArduCam és a LiDAR modul együttese megbízható szenzorhálót alkot. Az autonóm drónok alkalmazása nemcsak a repülés biztonságát növeli, hanem lehetővé teszi az ipari alkalmazások széles spektrumát, mint például mezőgazdasági megfigyelések, építkezési felmérések vagy akár mentési akciók lebonyolítása. Az ilyen technológiák alkalmazása tehát nemcsak a drónok teljesítményét növelik, hanem hozzájárulnak a különféle iparágak fejlődéséhez, továbbá lehetőséget teremtve a drónok számára, hogy valós idejű adatokat gyűjtsenek és elemezzenek a biztonságosabb és hatékonyabb működés érdekében.

4.7 Energiaellátás és akkumulátorok

A drón energiaellátásának megtervezése során szem előtt kellett tartani, hogy a drón minél több ideig a levegőben tudjon maradni ez nem volt egyszerű kihívás mivel sok komponens lett rá tervezve, amelyek nagyban növelik az áramfogyasztást ezzel csökkentve a drónt repülési idejét. Ezért projekt során részletes kalkulációkat kellett végeznünk a drón összes komponensének energiafogyasztásáról, figyelembe véve a legfontosabb eszközök összesített energiaigényét. Az elemzés során a LiDAR modulok, az NVIDIA Jetson Nano, a Crossfire Nano és a motorok áramfogyasztása volt a középpontban. A LiDAR modulok átlagos áramfelvétele 140 mA, így négy modul esetén a teljes fogyasztás 2,8 W. A NVIDIA Jetson Nano teljesítménye 5 W és 10 W között változik a terheléstől függően, míg a Crossfire Nano 30-60 mA áramot fogyaszt, ami maximálisan 1 W-ot jelent. A motorok jelentős energiaigénye átlagosan 5,43 A, ami négy propeller esetén összesen 21,72 A átlagos áramfelvételt eredményez elméletben, de tesztek során különböző fajtájú propellerekkel tesztelve az áramfelvétel felment 22-30 A-re maximális terheléskor pedig akár 109,88 A-ra is emelkedhet ezt az értéket még gyakorlatban nem tudtuk bizonyítani de a mostani tesztek arra utalnak hogy ezt az értéket meg fogja haladni. Az összesített elméleti energiaigény átlagos használat során körülbelül 329,8 W, míg maximális terhelésnél 1,648 W-ra becsülhető. Ezen értékek figyelembevételével tudtuk a drón saját akkumulátorát megtervezni és méretezni megfelelően, hogy az optimális üzemidőt biztosítani tudjuk. A kiválasztott akkumulátorcellák 18 Ah összkapacitással rendelkeznek, amit a 4S3P elrendezéssel értünk el. A drón energiaellátásáért felelős akkumulátorrendszer Vapcell F60 6000 mAh kapacitású, 21700 típusú lítium-ion cellákból áll, összesen 12 cellával elrendezve: négy soros és három párhuzamos cellakombinációban. A névleges feszültség 14,4 V, amely

teljesen feltöltött állapotban maximálisan 16,8 V-ra emelkedhet. A Vapcell F60 cellák előnye, hogy rendkívül megbízhatóak és tartósak, amely biztosítja a hosszú üzemidőt, így a drón képes a feladatok elvégzésére anélkül, hogy gyakori újra töltést igényelne. E cellák nagy energia sűrűséggel rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy a felvett energia mennyisége és a cellák súlya optimálisan van megválasztva, így a drón súlya is minimalizálható. A cellák fokozott hőállósága és a széles körű használati körülményekkel szembeni ellenállás a repülés megbízhatóságot növeli. A feszültség és kapacitás számítása során fontos megérteni a soros és párhuzamos kapcsolás működését. Minden Vapcell F60 cella névleges feszültsége 3,6 V, így a 4S soros kapcsolásban a csomag összefeszültsége 14,4 V ($4 \times 3,6$ V). Ezen kívül minden egyes cella kapacitása 6000 mAh (6 Ah), a 3P párhuzamos elrendezésben pedig a három ág kapacitása összeadódik, így a teljes kapacitás 18 Ah. A cellák maximális folyamatos kisütési áramának 12,5 A-nak kell lennie, és a három párhuzamos ág együtt 37,5 A-t biztosít. A 4S3P akkumulátorcsomag létrehozása során először a cellák csoportosítása történt. A négy cellát először sorosan kapcsoltuk össze, ahol az egyik cella pozitív pólusa a következő cella negatív pólusához csatlakozik, ezzel lehetővé téve a feszültség összegzését, míg az áramkapacitás változatlan marad. Ezután a négy sorba kötött cellát három párhuzamos csoportba rendeztük, ahol a párhuzamos ágak áramkapacitása összeadódik, de a feszültség megmarad a soros kapcsolás szintjén. A tervezett energiaellátás és a kalkulációk elméletben garatálja a drón megbízható működését, de végleges összeállításig nem lehet teljes garanciát állítani.

5. Jövőbeli fejlesztési irányok és technológiai trendek

Dróntechnológia folyamatos fejlődése új lehetőségeket és kihívásokat teremt, amelyek jelentős hatással vannak a különböző iparágakra. A jövőbeli fejlesztési irányok közé tartozik a mesterséges intelligencia (MI) és a gépi tanulás alkalmazása melyek következtében az autonóm UAV-ok sokkal nagyobb hatékonysággal lesznek képesek működni. Az MI segítségével a drónok képesek lesznek önálló döntéseket hozni és alkalmazkodni a környezetükhöz például az akadályok kikerülésére vagy a feladatok optimalizálására. Az intelligens észlelési képességeiknek javítása érdekében a szenzorok fejlesztése is kiemelt fontosságú. A korszerűsített LiDAR rendszerek, hőkamerák, és más érzékelők kombinálása lehetővé teszi, hogy pontosabb információkat gyűjtsenek a környezetükről, ezáltal növelve a hatékonyságukat különböző alkalmazásokban, mint például a mezőgazdaság, a logisztika, és a környezetvédelem. A drónok energiahatékonyságának növelése is kiemelt téma a jövőbeli

fejlesztések során. Az akkumulátor technológia, például a szilárdtest akkumulátorok, új lehetőségeket kínálnak a hosszabb üzemidő és a rövidebb töltési idők elérésére. Az energiatakarékos technológiák, mint például a napelemek integrálása a drónokba, hozzájárulhat a fenntartható működéshez és a költségek csökkentéséhez. A drónok jogi és szabályozási keretei is fejlődésen mennek keresztül. Az egyre növekvő drónhasználat miatt a kormányok és hatóságok globális szinten új szabályozásokat dolgoznak ki a drónok biztonságos és felelős használatának érdekében. A repülési engedélyek egyszerűsítése és az automatikus légi közlekedési rendszerek (UTM) bevezetése lehetővé teszi a drónok szélesebb körű integrációját a légi forgalomba. Végül, a drónok és az internetes technológia összekapcsolása, például a 5G hálózatok integrációja, forradalmasíthatja a drónok működését. A nagy sebességű internet-hozzáférés lehetővé teszi a valós idejű adatátvitelt, a távoli irányítást, és a drónok közötti kommunikációt, ami új lehetőségeket teremt az együttműködő drónflották alkalmazásában. Összességében a dróntechnológia jövőbeli fejlesztési irányai számos izgalmas lehetőséget kínálnak, amelyek forradalmasíthatják a különböző iparágakat.

6. Fizikai realizáció tesztelése

A drón tesztelések során az első művelet a Mission Planner-ben történő paraméterezése volt. Ennek során a motorok maximális teljesítményét kalibráltuk és megadtuk a drón fizikai jellemzőit mivel ezek szükségesek, hogy képesek legyünk pontosan irányítani azt. Majd a ZED mini kamera pontosságbeli határait kerestük. Ennek megállapítására egy fizikai koordináta-rendszert hoztunk létre, amin kimértünk bizonyos távolságokat majd egy Python kód segítségével ugyanabból a kiindulási pozícióból ugyanabba az érkezési távolságba vittük a kamerát. Ezt a folyamatot megismételtük 10 alkalommal majd kiszámoltuk a hibát a kamera által mérték és a valós tényleges elmozdulások különbséginek átlagából, ami $\pm 5\text{cm}$ -s pontosságot adott mind 3 tengely mentén. Miután ezt megállapítottuk elkezdtük az Orange Cube (egy repülés vezérlő típus) és kamera együttesével a polckörbejárás programot tesztelni. A teszt menete a következő volt: kézzel a polcokon különböző előre megadott x, y, z koordinátákból álló ellenőrzőpontokon keresztül végig vittük a kamerát. A kód amikor érzékelte az adott helyre történő megérkezést, akkor kiírta az adott pont sorszámát, ezt követően vittük a következő pozícióba ezzel a tesztel tudtuk a kódot tökéletesíteni és a kamera helymeghatározási képességét tesztelni. Ezek után megkezdtük a repülési teszteket a drón prototípus verziójával. Az első felszállásnál kiderült, hogy fals RC jeleket kap, amik következtében az UAV hirtelen nem várt mozdulatokat hajtott végre. Problémát sikeresen megoldottuk miután rájöttünk, hogy egy

paraméterezési hiba okozta a jelenséget. A tesztek során megfigyeltük, hogy a drón repülés közben öngerjesztő rezgő mozgást végez. Ezt a PID szabályzó körök kalibrálásával próbáltuk megoldani. Ehhez szükséges finomhangolások érdekében újabb repülési tesztek végeztünk és elkezdtük a firmware fejlesztő saját weblapján található leírás alapján kalibrálni a PID értékeket [14]. A tesztek végére sikerült a drón oszcillációját megszüntetni ennek köszönhetően az teljesen irányíthatóvá vált. Ezek után a magasságtartási funkciót állítottuk be és teszteltük. Ezen funkció sikeres konfigurációja során felmerült egy olyan probléma, hogy a barométer sztochasztikusan idő pillanatokban megzavarodik. A jelenség oka, hogy a propellerek által keltett légörvények hatással vannak a barométerre így ezt a jelenséget nem tudtuk kiküszöbölni, mert ez minden drón esetén jelen van és minél nagyobb méretű az eszköz annál jelentősebb. A problémára egy megoldási opció a plusz magasság információt szolgáltató szenzor alkalmazása, amely lehet a vizuális helymeghatározásra alkalmazott ZED mini vagy valamilyen más távolság mérés alkalmas érzékelő. A legfrissebb vizsgálatok során a drón hirtelen mozgásait korlátoztuk le úgy, hogy a drón ne tudjon egyik irányban se nagy sebességű elmozdulást végezni még akkor se, ha a vezérlő berendezésen a vezérlőkarok szélső határhelyzetbe ki vannak mozdítva.

7. Összegzés

A dolgozat végeredmény kidolgozott egy olyan UAS-t, amely mind hardveres, mind szoftveres tekintetben készen áll leltározási feladat megvalósítására.

A drón hardverrendszere átfogó tervezési folyamat eredménye, amely minden fő komponens, például az energiaellátás, a szenzorok, a vezérlőmodulok és a kommunikációs rendszerek összehangolt működésére épül. Az akkumulátor rendszer gondos kiválasztása biztosítja a hosszú üzemidőt és a stabil teljesítményt, míg a ZED és ArduCam kamerák fejlett képalkotó képességeket nyújtanak a pontos térbeli navigációhoz. A választott LiDAR modul a beltéri helyzetfelismerést segíti, különösen GPS-hiányos környezetben, a motorok pedig a drón dinamikus mozgékonyágát támogatják. A hardverösszetevők összehangolása lehetővé teszi a drón számára, hogy különféle feladatokat biztonságosan és hatékonyan hajtson végre.

Erre a platformra olyan szoftveres alkalmazások épülnek, amelyek vizuális odometria segítségével képes bármilyen környezetben mindenféle előismeret nélkül képes a helymeghatározásra. Továbbá sikeresen kiválasztásra került egy olyan hardver közeli szoftver, amely széles körben támogatja az információ továbbítást és megfelelő biztonsági funkciókat tartalmaz. Végül elkészült egy olyan Python nyelvű irányító szoftver, ami a képes a drón helyzet

adatainak transzformálás utáni továbbítására az FC számára és az UAV végig navigálására az előre meghatározott koordinátákon. A dolgozat leadásának pillanatában 2024.11.04. a drón jelenleg rendelkezik a navigációs és ZED kamera adatokat kiolvasó szoftverrel. Fizikai megvalósításban, pedig a magasság tartás és a hirtelen mozdulások lekorlátozásánál jár a prototípus verzió.

Irodalomjegyzék

- [1] H. I. Christensen, „SLAM algorithm figure,” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-the-SLAM-algorithm_fig10_3955081.
- [2] IEEE, „Stereo Vision-Based 3D Positioning and Tracking,” 2020.
- [3] IEEE, „Run Your Visual-Inertial Odometry on NVIDIA Jetson: Benchmark Tests on a Micro Aerial Vehicle,” 2021.
- [4] IEEE, „Micro Air Vehicle Link (MAVlink) in a Nutshell: A Survey,” 2019.
- [5] M. Lőrinc, „PID típusú szabályzók,” in *Irányítástechnika*, Kolozsvár, Scentia, 2009, p. 27.
- [6] „Pymavlink (Python-mavgen),” [Online]. Available: https://mavlink.io/en/mavgen_python/.
- [7] „Stereolabs ZED - Python API,” [Online]. Available: <https://github.com/stereolabs/zed-python-api>.
- [8] R. Bhadani, „Quaternion and Euler Angles,” 9 június 2019. [Online]. Available: <https://rahulbhadani.github.io/docs/QuaternionAndEuler.pdf>.
- [9] A. T. Z. V. M. K. Z. S. P. S. J. S. I. B. Vladimir Tadic, „Perspectives of RealSense and ZED Depth Sensors for Robotic Vision Applications,” *mdpi*, 03 03 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/3/183>. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].
- [10] „Flying Free: A Research Overview of Deep Learning in Drone Navigation Autonomy,” *mdpi*, 04 03 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/5/2/52>. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].
- [11] „Vision-Based Navigation Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: Review and Challenges,” *mdpi*, 16 12 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/2/89>. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].
- [12] „Motor adatok,” [Online]. Available: https://store.tmotor.com/product/f2203_5-fpv-motor.html.
- [13] M. D. S. K. S. K. S. G. R. P. ., J. P. Y. S. ., S. B. N. A. ., R. W. G.R. Bhat, „Autonomous drones and their influence on standardization of rules and regulations for operating–A

brief overview,” Elsevier, 17 02 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666720724000316>. [Hozzáféres dátuma: 20 10 2024].

[14] ArduPilot, „Initial Tuning Flight,” [Online]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/initial-tuning-flight.html#initial-tuning-flight>.

[15] Stereolabs, „Coordinate Frames,” [Online]. Available: <https://www.stereolabs.com/docs/positional-tracking/coordinate-frames>.

Ábrajegyzék

1. ábra SLAM algoritmus működését szemléltető ábra Forrás: saját ábra, [1] alapján	6
2. ábra VO működését szemléltető ábra Forrás: saját ábra	6
3. ábra MAVLINK csomag szerkezete Forrás: saját ábra	9
4. ábra Zed mini alapparaméterezése Forrás: saját ábra	12
5. ábra Pozíció adatok kiolvasása és feldolgozása	13
6. ábra Kvaterniók, Euler szögek transzformációs mátrix	14
7. ábra VISION_POSITION_ESTIMATE üzenet formátuma	14
8. ábra LOCAL_POSITION_NED üzenet fogadása	16
9. ábra Üzenet küldésének kérése és ismételt küldés intervallum beállítása	16
10. ábra Drón váz	19
11. ábra Zed mini kamera	20
12. ábra BLDC motor forrás: https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/	23