

Mobil robotplatform GPS alapú navigációja

2022

Szerző

Eredits Dániel

Témavezetők

Krecht Rudolf, Boros Norbert

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	2
1.1. Feladat leírása.....	2
1.2. Felállított követelményrendszer	3
1.2.1. Funkcionális követelmények	4
1.2.2. Nem funkcionális követelmények	4
1.3. A navigációs rendszer ismertetése.....	4
2. HASZNÁLT TECHNOLÓGIÁK.....	6
2.1. Neobotix Mobile Robot MP-500 robotplatform.....	6
2.2. Universal Robot UR3 kollaboratív robotkar	6
2.3 GNSS és navigációs rendszerek	7
2.4. Real-Time Kinematic (RTK).....	8
2.5. PX4 robotpilóta rendszer	8
2.6. Robot Operating System 2 (ROS2)	9
3. GNSS ALAPÚ NAVIGÁCIÓS RENDSZER	11
3.1. RTK	11
3.2. PX4 robotpilóta rendszer	15
3.3. Hagyományos GNSS vevő és RTK összehasonlítása	16
3.3.1. A mérés célja	16
3.3.2. A mérés menete	17
3.3.3. A mérés eredményei	18
3.3.4. A mérésekből levont következtetések.....	19
4. TOVÁBBFEJLESZTÉSI CÉLOK.....	20
ÁBRAJEGYZÉK	21
IRODALOMJEGYZÉK.....	22

1. Bevezetés

1.1. Feladat leírása

Napjaink központi kihívása a rendelkezésünkre álló rendszerek, berendezések automatizáltsági fokának növelése. A feladatom fejleszteni egy olyan kültéri robotplatform navigációs rendszerét, amely a zalaegerszegi ZalaZone tesztpálya kiszolgálását hivatott támogatni forgalomtechnikai terelőbóják precíz, automatizált kihelyezése által. A robotplatformnak a kiindulási helyéről indulva megadott GPS koordinátákat érintve szükséges elhelyeznie a terelőbójákat, majd az utolsó pont után a kezdőponthoz vissz navigálnia, akadálykerülés használatával. Az én feladatom a NATLAB projektben a robotplatform navigációs rendszerének kiépítése, mely képes a platform centiméter pontos GPS koordinátáinak meghatározására valós időben. A fejlesztés során a rendszert három fő részre bontottam, ezeket egymással összehangolva valósítottam meg így alakult ki a robotplatformon most használatos struktúra.

Az első kihívás a megfelelő módszer azonosítása, megismerése és gyakorlatba helyezése, mellyel lehetséges a robotplatformnak centiméter pontos helyzetmeghatározást elérnie valós időben. A választás a Real-Time Kinematic (RTK) módszerre esett, amely korrigálja a Global Navigation Satellite System (GNSS) általános hibáit, így elérve a pályakiszolgáló robotplatform kívánta eredményeket.

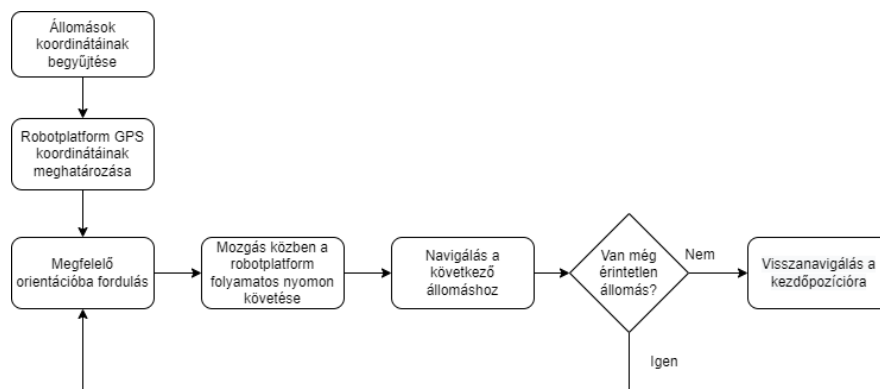
A feladat második része a pozicionálásért felelős RTK és a PX4 robotpilóta rendszer összehangolása volt. A PX4 autopilot, másnéven robotpilóta rendszer egy rendkívül moduláris és bővíthető vezérlő rendszer mely port alapú architektúrát használ, tehát a fejlesztés során az észszerűség keretein belül szabadon bővíthető újabb komponensekkel a rendszer, teljesítményvesztés nélkül. A PX4 robotpilóta rendszert támogató hardverek közül a robotplatform navigációs rendszere a Pixhawk-ot használja. A PX4 segítségével olvassa ki a Pixhawk robotpilótából a navigációs rendszer a GNSS szenzor navigációs adatait és az IMU készülék által biztosított orientációt. A vezérlő segítségével számos probléma áthidalásra került, a rendszer problémamentes működését eredményezve.

Az utolsó lépés a robotpilóta rendszer összehangolása a belső elektronikával, így a már rendelkezésre álló GPS adatokat hasznosítani, alkalmazni tudja a robotplatform, ám ehhez szükség van egy belső szoftverarchitektúrára, melyet a Robot Operating System 2 (ROS2) segítségével építettem ki. A három tényező együttes, valós idejű biztosítása jelentette a kihívást a navigációs módszer létrehozásakor.

1.2. Felállított követelményrendszer

A robotplatform feladata adott kezdeti pozícióból indulva előre definiált GPS koordinátákat érintve terelőbóják elhelyezése. Minden állomás érintése után a robotplatformnak a következő állomás eléréséhez szükséges orientációt szükséges felvennie utána elnavigálni a következő mérőföldköig, majd minden állomás lefedése után a kezdő pozícióra való visszatérés, közben esetleges akadálykerülést is végrehajtva.

A feladat megvalósításához szükséges kritériumokat egy általam meghatározott követelményrendszert követve állapítottam meg. A követelményrendszer magába foglalja a centiméter pontos helyzetmeghatározást, a navigációs rendszer és a belső vezérlés kapcsolatának felépítését, továbbá a megoldást mellyel a rendszer képes egyszerre több robotplatformot is azonos időben kezelni.



1. ábra. Terelőbóják elhelyezésének folyamatábrája

1. táblázat. A projektre vonatkozó követelményrendszer

Követelmény	Megoldás
Centiméter pontos helyzetmeghatározás	RTK rendszer
Több robot egyidejű kiszolgálása	NTRIP szerver
Szenzoradatok folyamatos olvasása	PX4 robotpilóta rendszer
Bázis állomás hordozhatósága	Kis méretű, mobilis bázis állomás
Szenzoradatok elérhetősége a lokalizáció modul és a térkép számára	ROS2 ökoszisztéma
Adatok egyszerű kezelhetősége	ROS2 ökoszisztéma
Modularitás	ROS2 ökoszisztéma

A követelményrendszert az egyszerű megvalósíthatóság és az átláthatóság végett funkcionális és nem funkcionális követelményekre bontottam.

1.2.1. Funkcionális követelmények

A fő szempont a robotplatform centiméter pontos meghatározása a terelőbója egzakt pontra való kihelyezése végett. Ennek a kivitelezése érdekében egy, az általános GNSS vevőnél fejlettebb, precízebb technológia használata szükséges.

Szükséges egy olyan technológia bevezetése, amely segítségével azonos időben több robotplatform kezelése lehetséges, ugyan azzal a navigációs rendszerrel.

Kulcsfontosságú olyan robotpilóta rendszer integrálása, amely segítségével a robotplatform vezérlőegysége és a navigációs rendszer egymással kommunikál.

Mivel a ZalaZone teszt pályán nincs ismert, létező GPS koordináta melyre egy földi bázis állomást lehetne helyezni ezért fontos egy olyan bázis használata mely mobilis, könnyen mozgatható, így a teszt pályára bármely pontjára lehelyezhető.

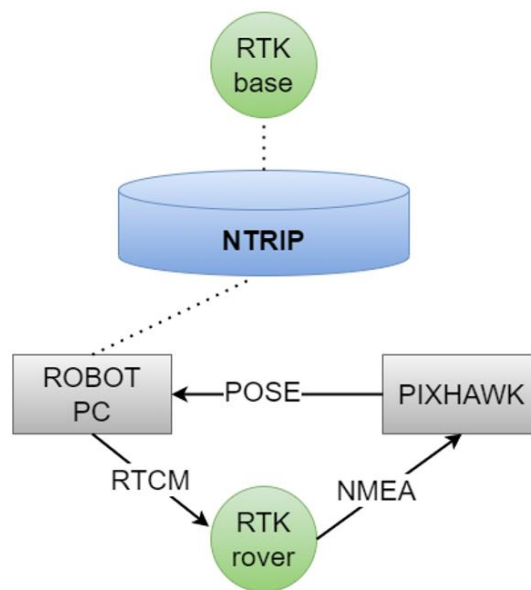
1.2.2. Nem funkcionális követelmények

Szükséges egy olyan ökoszisztéma mely lehetővé teszi a robotpilóta rendszertől érkező navigációs és szenzor adatok elérhetőségét a lokalizáció modul és a robotplatformot valós időben nyomon követő térkép számára.

A mobil robotplatform navigációs rendszerének létrehozásakor fontos a rendszer jól elkülöníthető, moduláris felépítése, így a rendszer minden egysége újra felhasználható.

1.3. A navigációs rendszer ismertetése

A mobil robotplatform navigációs rendszerének alapja az RTK és a Pixhawk robotpilóta összehangolása, majd integrálása ROS2-be topic-ok segítségével. Az RTK és a magasszintű irányítórendszer által biztosított adatok segítségével centiméter pontos helyzetmeghatározás érhető el. A koncepció alapja az RTK szisztéma, amely egy PX4 irányítórendszer segítségével továbbítja az adatokat a vezérlőegységnek, amely a kapott GPS koordinátákkal, orientációval további számításokat végez, hogy a terelőbóják a megfelelő helyre legyenek kihelyezve.



2. ábra. A mobil robotplatform navigációs rendszerének blokkvázlata

2. Használt technológiák

2.1. Neobotix Mobile Robot MP-500 robotplatform

A Neobotix Mobile Robot MP-500 robusztus kialakításának, valamint a számos funkciójának és szolgáltatásának köszönhetően rendkívül népszerűvé vált a robotika kutatásában. Számtalan olyan projektben használják, amelyek új megoldásokat keresnek az automatizálás világában.

A robotplatformon az ROS2 ökoszisztémát alkalmazva nem csak megbízhatóan eligazodik a ZalaZone kültéri teszt pályán, hanem könnyen illeszthető a legkülönbözőbb igényekhez.



3. ábra. Neobotix Mobile Robot MP-500 robotplatform

2.2. Universal Robot UR3 kollaboratív robotkar

Az Universal Robot UR3 kollaboratív robotkar programozható úgy, hogy mozgassa a kijelölt szerszámokat, tárgyakat és kommunikáljon más eszközökkel, elektromos jelek segítségével. A robotkar extrudált alumíniumcsövekből és ízületekből áll.



4. ábra. Universal Robot UR3 robotkar

2.3 GNSS és navigációs rendszerek

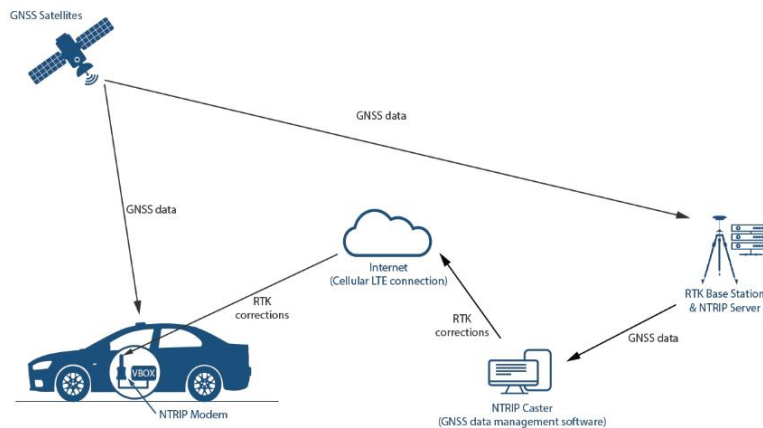
A zalaegerszegi ZalaZone tesztpálya kiszolgálását hivatott mobil robotplatform elengedhetetlen része a navigációs rendszer. Számos megoldás létezik, ám ezek közül a legnagyobb potenciállal rendelkező a globális műholdas navigációs rendszer (GNSS) használata.

A GPS az Amerikai Egyesült Államok által kifejlesztett és üzemeltetett helymeghatározó rendszer, amely a nap 24 órájában képes a 24 aktív műholdból álló flotta segítségével bármely földi vevő háromdimenziós valós idejű pozíciójának meghatározására. Számos teszt elvégzése és elemzése után az elvégzendő feladat hibahatára nem esett bele a GPS 2-5 méteres pontosságába, ezért más megoldást kellett alkalmazni, nem elégítette ki a várt igényeket a robotplatform által elhelyezett terelőbóják megadott GPS koordinátákra való kihelyezéséhez. Az amerikaiak által fejlesztett navigációs rendszer a 24 műholdból pusztán 4-et garantál egyszerre, ez a mennyiség kevés a valós idejű centiméter pontos helyzetmeghatározás elérésére, szinten tartására. Továbbá van számos kiküszöbölhetetlen hiba, mint például a pályahiba és az ionszféra által okozott tévedések, melyeket csak a GPS navigációs rendszert használva további pontatlansághoz vezet [1].

Összefoglalva, olyan navigációs rendszerre van szüksége a robotplatformnak, mely nem csak az amerikai fejlesztésű módszert alkalmazza, hanem az Európai Unió által fejlesztett Galileo-t, az orosz-indiai fejlesztésű Glonass-t továbbá a kínai Beidou-2 műholdas rendszert. Egy olyan navigációs módszer, amely mind a négy szisztéma műholdjait használja, összesen 80 műhold adatait képes egyidejűleg feldolgozni és korrekciós számítások végzése mellett elérhető a centiméter pontos helyzetmeghatározás. Erre a problémára nyújt megoldást a GNSS. Egy GNSS vevő pontossága már egy méteren belülre esik, ami hatalmas előrelépés a GPS után, ám ez még mindig nem elégíti ki a követelményrendszerben felállított centiméter pontos helyzetmeghatározást.

2.4. Real-Time Kinematic (RTK)

A Real-Time Kinematic (RTK) egyike az olyan módszereknek, amely a GNSS általános hibáinak kijavítására készült. Egy RTK szisztéma kiépítéséhez a mobil robotplatformon található GNSS vevőn (rover)-en kívül szükséges egy bázis állomás (base station) ami egy NTRIP szerveren keresztül továbbítja az RTCM3 korrekciós adatokat a rovernek. Ezeknek az üzeneteknek a segítségével érhető el a mozgó állomás centiméter pontos helyzetmeghatározása [2].



5. ábra. Real-Time Kinematic (RTK) szisztéma [5]

Azért döntöttem az RTK szisztéma használata mellett, mivel a mobil robotplatform a ZalaZone teszt pályát hivatja kiszolgáltatni. Mivel egy ismert zárt teszt pályán előre meghatározott GPS koordinátákra szükséges kihelyezni a terelőbójákat, ezért elengedhetetlen a GNSS és RTK navigációs rendszerek együttes alkalmazása. A navigálás közben előforduló esetleges akadálykerülést LIDAR segítségével hajtja végre a robotplatform.

2.5. PX4 robotpilóta rendszer

A PX4 egy nyílt forráskódú robotpilóta rendszer, Az egyike azon magasszintű irányító rendszereknek, melyek kompatibilisek az RTK rendszerekkel.

A PX4 robotpilóta rendszert támogató hardverek közül a navigációs rendszerbe a Pixhawk robotpilóta lett integrálva, amely micro USB porton keresztül kommunikál a robotplatform vezérlőegységével. A PX4-en keresztül jut el a pozícióinformáció a robotplatform irányítóegységéhez időbélyeggel ellátott üzenet formájában.

A Pixhawk a vezérlőegységgel való információcserét MAVSDK könyvtárkollekció segítségével valósítja meg, amely a MAVLink kommunikációs protokoll szoftveres úton való elérését teszi lehetővé. A MAVLink-et drónokkal, mobil robotplatformokkal való kommunikációra fejlesztették ki.

A PX4 robotpilóta rendszer optimális működéséhez, a Pixhawk kalibrálásához a QGroundControl szoftvert használtam, de a feladat elvégzéséhez az ARDUPILOT Mission Planner is használható [3].



6. ábra. PX4 robotpilóta rendszer kommunikációs blokkvázlata [7]

2.6. Robot Operating System 2 (ROS2)

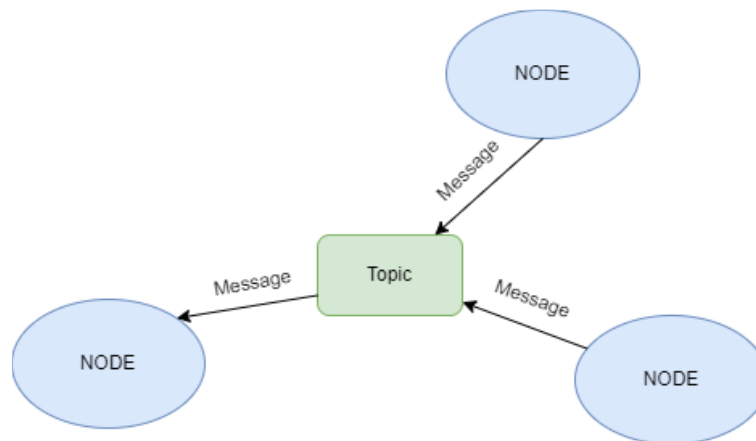
A Robot Operating System (ROS2) olyan könyvtárakat és eszközöket biztosít, amelyek elősegítik a robotplatformok különböző funkcióit kiszolgáló applikációk készítését. Az ROS2 ellátja azokat az alapvető feladatokat, melyeket egy operációs rendszertől elvárunk, mint például a hardver absztrakció, folyamatok közti adattovábbítás és csomagok menedzselése, viszont az ROS2-nek szüksége van a futáshoz egy tényleges operációs rendszerre is. Továbbá az ROS2 több eszközt képes kezelni azonos hálózaton, ezért lehetséges több mobil robotplatform alkalmazás egy rendszerben.

Az ROS2 az összetett, komplex rendszereket moduláris részekre, úgynevezett node-okra bontja.

A robotplatform különböző részeiért, mint például a motorok hajtása, vagy a GPS koordináták lekérdezése, egy-egy *node* felel. Minden node képes adatokat küldeni és fogadni, kommunikálni a rendszeren belül más node-okkal. A node-ok közötti kommunikáció zajlódhat topic-ok, service-ek, action-ok segítségével is. A navigációs rendszer a kommunikációt *topic*-okon keresztül végzi. A topicok folyamatos adatáramlásra szolgálnak. Az adatokat a küldő node kérésére a topic bármikor továbbítani tudja egy vagy akár több node-nak is.

Egy robotplatform üzemelése különböző céllal létrehozott node-ok, topic-ok összehangolt működésén alapszik.

Számos ROS2 disztribúció létezik, a robotplatformon a 2020-ban megjelent Foxy Fitzroy van használatban.



7. ábra. Node-ok közötti kommunikáció [4]

3. GNSS alapú navigációs rendszer

3.1. RTK

Az RTK rendszer megfelelő működéséhez elengedhetetlen a bázisállomás pozíciójának meghatározása az előírt követelményeknek megfelelő pontossággal. Két módszerrel lehetséges determinálni a bázisállomás helyzetét. Az egyik módszerrel manuálisan szükséges megadni a GPS koordinátákat, ahol a vevő található, de ennek számos hátránya van. A bázisállomás elmozdítása a megadott helyéről számítási hibákhoz vezet, amely rontja a robotplatformon elhelyezkedő GNSS vevő, másnéven a rover helymeghatározásának pontosságát. Az általam használt módszer az úgynevezett *survey-in* eljárás. Ennek a módszernek köszönhetően a bázis állomás adott időintervallum alatt meghatározza saját pozícióját, ami kevésbé pontos, mint a manuálisan megadott GPS koordináták, de a *survey-in* eljárás segítségével is könnyedén meghatározható a rover pozíciója centiméter pontossággal. Fő előnye a bázis állomás vevőjének mobilitása, hiszen azt áthelyezve, a *survey-in* módszer újraindításával újra tökéletesen, számítási hibák nélkül működik az RTK rendszer. Erre azért van szükség mivel a ZalaZone tesztpályán nincs birtokunkban etalon GPS koordináta, ezért a bázis állomás fix pontra való helyezése nem lehetséges.

A bázisállomás a rovernek egy Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) szerveren keresztül küldi az RTCM3 korrekciós adatokat. Léteznek ingyen elérhető és feliratkozás alapon működő NTRIP szerverek, ám saját szerver létrehozásával a rover pontosságának meghatározása jelentősen növekszik, ezért döntöttem egy független, csak a robotplatform által használt NTRIP szerver kialakítása mellett. A módszer működéséhez az összes vevőnek egy hálózaton kell tartózkodnia. A kapcsolódáshoz a base station vevőjén létfontosságú létrehozni egy mount point-ot, amelyre a rover autentikációt követve tud csatlakozni és az NTRIP szerveren keresztül eljutnak hozzá az RTCM3 korrekciós adatok.



8. ábra. SIRIUS RTK GNSS bázisállomás

Az RTCM3 információ olyan üzenetsomag, amely magába foglalja a különböző navigációs módszerekből érkező adatokat, további korrigáláshoz szükséges információkat, időbélyegeket. Az RTCM3 üzenetet, korunk legfejlettebb navigációs rendszereinek (GPS, Galileo, GLONASS, Beidou-2) csomagjait, üzeneteit tartalmazza. A bázis állomás továbbítja egy NTRIP szerveren keresztül a korrekciós adatokat centiméter pontos helyzetmeghatározást elérve.

Az GNSS vevő RTK-t használva két állapot felvételére képes: RTK FIXED és RTK FLOAT.

Az RTK FLOAT állapot elérése azt jelzi, hogy az algoritmus még nincsen megoldva, nem tud egy elfogadható, másnéven FIX pozíciót visszaadni. A FLOAT kevésbé pontos, mint a FIXED ezért centiméter pontos helyzetmeghatározási feladatok megoldásához nem alkalmazható. Alapból az algoritmus mindig FLOAT állapotban indul, de elég időt várva (30-90 másodperc) a megfelelő körülmények feltételében FIXED állapot érhető el [4][3].

Az RTK FIXED állapot az jelenti, hogy a vevő algoritmus kiszámította az RTCM3 korrekciós adatok felhasználásával a vevő centiméter pontos helyzetét. Az RTK bonyolult matematikai képleteket, algoritmusokat használ, beleértve a műholdak és a referenciaállomás közötti rádióhullámhosszak pontos számának kiszámítását is, hogy FIXED megoldást kapjon [4].

A navigációs rendszer a mozgó állomás pozíciójának meghatározására lett kiélezve. A rover centiméter pontos meghatározása akkor történt meg, hogyha a navigációs rendszer elérte az RTK FIXED módot a mozgó állomáson. A rovert az NTRIP szerverre csatlakoztatva képes fogadni a bázis állomás által továbbított RTCM3 adatokat. A GNSS és a base station-től érkező korrekciós adatokat feldolgozva érhető el a centiméter pontos helyzet.

A rover a PX4 robotpilóta rendszernek NMEA típusú navigációs adatokat továbbít, melyet a Pixhawk feldolgoz. Az NMEA egy kombinált adatspecifikáció a különböző műszerek, mint például a giroidánytű, robotpilóta és a GPS vevők közötti kommunikáció lebonyolításához [5].



9. ábra. SIRIUS RTK GNSS rover

A mozgó állomás minél pontosabb helyzetmeghatározása és a jel zavartalan működése érdekében a mobil robotplatformon egy multi-band antenna segíti az adatok zavartalan, minél jobb minőségben történő megérkezését. Azért a 10. ábrán látható antennát választottam, mivel képes GPS, GLONASS, Galileo és Beidou műholdak egy időben történő érzékelésére, kezelésére.

A rover által gyűjtött adatok a PX4 robotpilóta rendszeren keresztül jutnak el a robotplatform vezérlőegységéhez, ezért az RTK integrálását ROS2-be a következő fejezetben fejtem ki.



10. ábra. DA910 multi-band GNSS antenna

A mozgó állomás és a base station konfigurálását a u-center szoftveren keresztül szükséges elvégezni. Léteznek más szoftverek is erre a célra, de én a u-center programot találtam a legmegfelelőbbnek, mivel a hardverek gyártói által készített szoftver segítségével könnyedén kalibrálhatóak az eszközök, maximális kihasználhatóságot biztosít.

Az u-center szoftvert használva a megfelelő soros port kiválasztása után kezdődhet meg az eszköz beállítása.

A rover konfigurálása lépésről-lépésre:

- A robotpilótához csatlakozó UART port átviteli sebességét (Baudrate) 38400-ra kell állítani a megfelelő kommunikáció eléréséhez.
- A roverben található F9P chip mérési időszakát (measurement period) 200 ms-re kell állítani.
- A roveren be kell állítani, hogy az összes NMEA adatot továbbítsa, melyet a Pixhawk fogad.
- A roveren be kell állítani, hogy fogadja az összes, a bázis állomás által küldött RTCM3 korrekciós adatokat.

A base station konfigurálása lépésről-lépésre:

- Azért, hogy a bázis állomás automatikusan meg tudja állapítani a saját, jelenlegi pozícióját a survey-in eljárást be kell kapcsolni, illetve, hogy a base station legalább mennyi időt szánjon erre.
- A bázis állomáson szükséges beállítani, hogy az összes RTCM3 korrekciós adatot továbbítsa NTRIP szerveren keresztül a rovernek.
- A bázis állomáson szükséges létrehozni egy mount pointot a megfelelő autentikációs beállítások elvégzésével.

2. táblázat. Az RTK pontossága összehasonlítva más helyzetmeghatározási eszközökkel

Helyzetmeghatározási módszer	Átlagos pontosság
Általános GNSS vevő	2-5 m
SBAS	1-2 m
DGPS	0.3 m-0.8 m
RTK FLOAT	5-10 cm
RTK FIXED	1-3 cm

3.2. PX4 robotpilóta rendszer

A PX4 magasszintű irányítórendszer, mely az RTK és a robot vezérlőegysége közötti kommunikációt bonyolítja le. Továbbá a Pixhawkban található IMU segítségével pontosan meghatározható a robotplatform kezdeti orientációja, amely nagyban megkönnyíti a terelőbóják elhelyezésének megkezdését, mivel fordulások nélkül meghatározható a platform iránya. A PX4 firmware szenzorok és egyéb perifériák kezelését is lehetővé teszi.

A kommunikáció a Pixhawk robotpilóta és az ROS2 szisztéma között a MAVSDK könyvtárkollekció segítségével zajlik, mely egy rendszeren belül egyszerre akár több robotplatform információ és telemetria adat cseréjének lebonyolítására is képes. Ezen könyvtárak használatával képes a PX4 kommunikálni a MAVLink rendszerekkel (robotplatformok, drónok), majd az onnan kapott információt továbbítani az ROS2 alapú rendszernek. A MAVLink egy kommunikációs protokoll, amely robotplatformokkal és drónokkal való pont-pont kommunikáció megvalósítására alkalmaznak. A protokoll segítségével a Pixhawk 4 által gyűjtött adatok a memóriába történő folyamatos olvasása majd küldése után jutnak el az ROS2 ökoszisztémához, ahol a kapott információk feldolgozásra kerülnek.



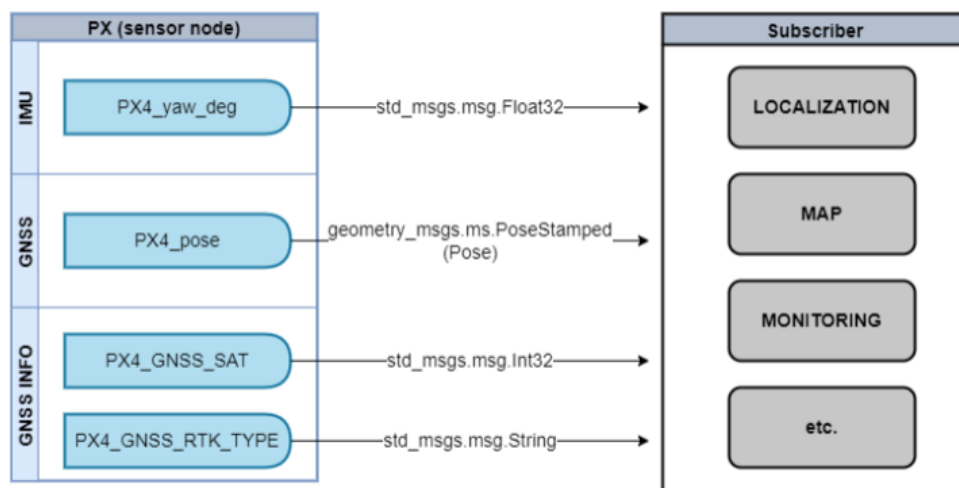
11. ábra. Pixhawk robotpilóta

A Pixhawk 4 konfigurálására és nyomon követésére a QGroundControl (QGC) szoftvert választottam. A használatával lehetséges a PX4 firmware feltöltése és beállítása a robotpilóta eszközre.

A PX4 robotpilóta rendszer ROS2-be való integrálása node-ok létrehozásával lett kivitelezve. A topic-okon keresztül jutnak el a Pixhawk-ból és az RTK roverból gyűjtött navigációs adatok a vezérlőegységhez, amely azt feldolgozza és felhasználja.

A PX4 összesen négy külön topic segítségével biztosít információt:

- PX4_yaw_deg – A topic segítségével a robotplatform orientációja olvasható valós időben, melyet a Pixhawk IMU adatait olvasva kommunikálja a topic globálisan, fokban megadva.
- PX4_pose – A mozgó állomás GPS koordinátáit adja vissza valós időben, időbélyeggel ellátva
- PX4_GNSS_SAT – Az RTK rendszer által jelenleg használt műholdak számát adja vissza valós időben
- PX4_GNSS_RTK_TYPE – Az RTK pillanatnyi állapotát adja vissza, hogy a rendszer éppen FIXED vagy FLOAT módban van



12. ábra. A PX4 robotpilóta rendszer ROS2-es integrálásának szemléltetése

3.3. Hagyományos GNSS vevő és RTK összehasonlítása

3.3.1. A mérés célja

A mobil robotplatform navigációs rendszerének pontossági igényét nem elégíti ki egy általános GNSS vevő 2-5 méteres pontossága. Ezért használja a rendszer az RTK módszert, ami a megfelelő körülmények között képes centiméter pontos helyzetmeghatározásra.

Az általam elvégzett mérés célja azt hívatott összehasonlítani, hogy mekkora a különbség egy általános GNSS vevő és az RTK rendszer helyzetmeghatározásának pontossága között.

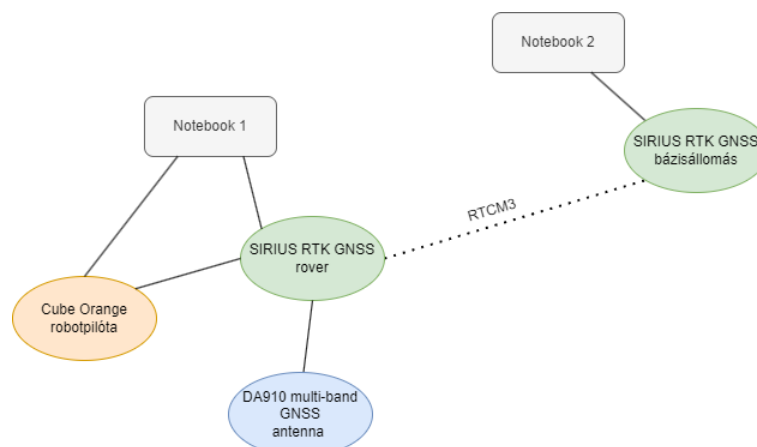
3.3.2. A mérés menete

A mérés során a robotplatformon használt navigációs rendszert építettem ki a legpontosabb eredmény kimutatásának érdekében. A különbség a méréskor használt és a robotplatformon használt navigációs rendszere között a Pixhawk helyettesítése egy Cube Orange hardverrel, ami szintén egy PX4 robotpilóta rendszer. Ez a változtatás a GNSS vevő és az RTK rendszer pontosságát, tehát összességében a mérés eredményét nem befolyásolja.

A méréshez használt eszközök listája:

- Cube Orange robotpilóta
- SIRIUS RTK GNSS rover
- SIRIUS RTK GNSS bázisállomás
- DA910 multi-band GNSS antenna
- 2db notebook

Mindkét mérés során a SIRIUS RTK GNSS bázisállomáson a survey-in metódust alkalmaztam, mely 0,8m pontosságra határozta meg a bázisállomás pozícióját.

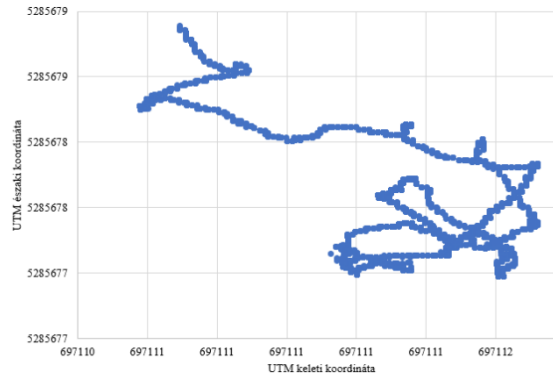


13. ábra. A mérést segítő eszközhálózat [4]

A mérés elvégzését segítő Python nyelvben írt program saját készítésű, mely a MAVSDK könyvtárkollekció és a PX4 robotpilóta segítségével naplózza a kapott koordinátákat Universal Transverse Mercator (UTM) koordinátarendszerben. Az UTM egy olyan koordinátarendszer mely a földet zónákra osztja. Előnye, hogy nem tartalmaz negatív koordinátákat és a koordináták decimális alapúak, így könnyebb meghatározni az eltéréseket [6].

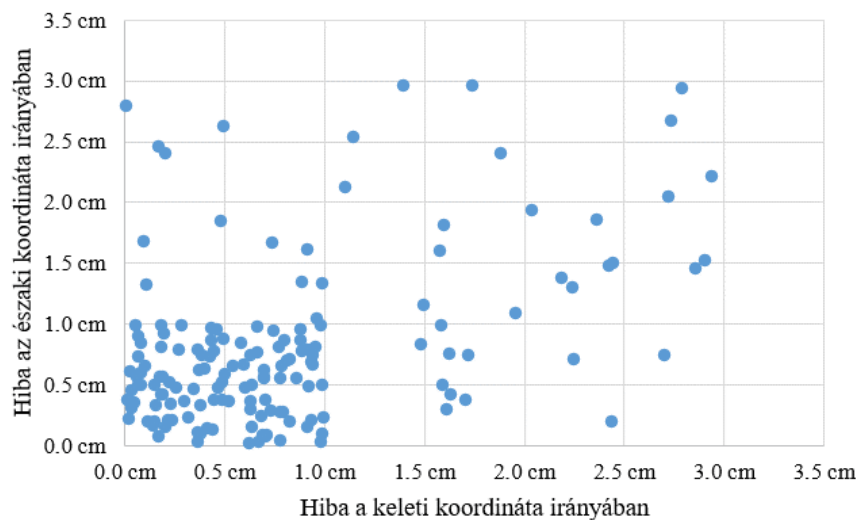
3.3.3. A mérés eredményei

A 14. ábrán látható pontdiagram a mérés során kapott 5000 UTM koordinátát reprezentálja, melyeket a 13. ábrán látható eszközhálózat használatával gyűjtöttem. A mérés során a GNSS vevő egy fix helyen volt mozdulatlanul.



14. ábra. Általános GNSS vevő mérési eredménye

Ahogy a 14. ábrán látható, hogy a SIRIUS RTK GNSS rover RTK nélkül nagyjából egy két méter átmérőjű körben határozta meg a pozícióját. Az eszköz indításakor a pozíció több mint másfél métert téved, viszont utána konzisztensen egy 60-70 cm átmérőjű körben határozza meg a pozícióját, ami jóval kevesebb mint a GNSS vevők átlagos tévedése, de a terelőbóják egzakt pontra való kihelyezésére nem elég pontos. Ebből az következik, hogy egy általános GNSS vevő nem elegendő az általunk definiált követelményrendszer kielégítésére.



15. ábra. RTK mérés eredménye

Az általános GNSS vevővel történt mérés után végeztem egy mérést a 13. ábrán látható eszközhálózzal. A 15. ábrán a nyomatékosság végett nem a mérés során kapott koordinátákat rendeztem diagramba, hanem egy hibadiagramot készítettem, mely szemlélteti az RTK rendszer pontosságát a SIRIUS RTK GNSS rover valódi helyzetéhez képest.

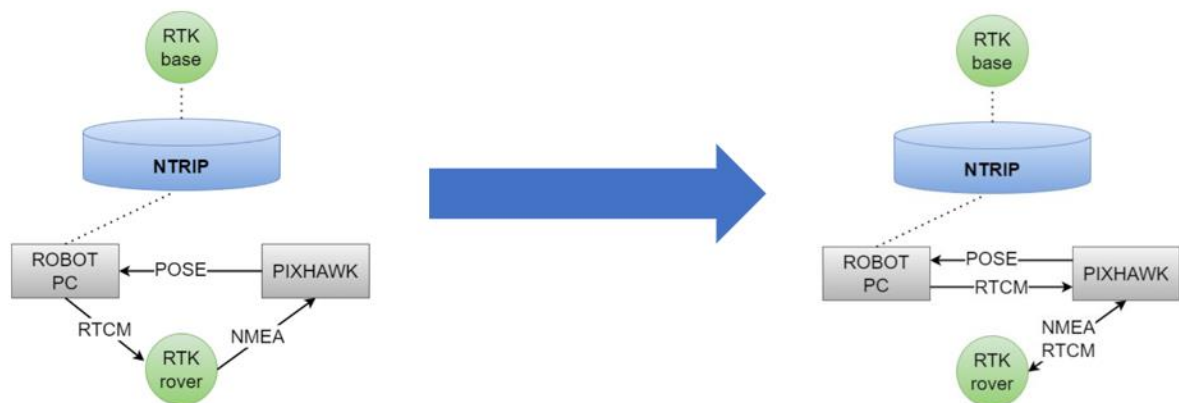
Ahogy a 15. ábrán látható, az RTK rendszer segítségével a rover pozíciója már a mérés kezdetétől kevesebb mint 3 centiméteres pontosságot biztosít, utána viszont elérhető folyamatosan a rover centiméter pontos helyzetmeghatározása.

3.2.4. A mérésekből levont következtetések

A mérések eredményei, melyek a 14. és 15. ábrán láthatóak egyértelműen reprezentálják, hogy ugyan azzal az eszközhálózattal, azonos körülmények között végzett tesztek alapján az RTK rendszer messze túlteljesítette az általános GNSS vevőt, mint pontosságban, mint konzisztenciában. Ugyan a SIRIUS RTK GNSS rover bőven felülmúlja az általános GNSS vevők által vétett 2-5 méteres hibahatárt, közel nem nyújtotta az RTK által meghatározott pontosságot. Az RTK rendszer biztosította centiméter pontos helyzetmeghatározás az, amely kielégíti a mobil robotplatform által megkövetelt pontosságot és konzisztenciát már az eszközök indulásától kezdve.

4. Továbbfejlesztési célok

Az egyik tervezett változtatás a mobil robotplatform navigációs rendszerének továbbfejlesztése érdekében az információ áramlásának átdolgozása, így egy csatornával kevesebből állna a rendszer, továbbá minden eszköz között az egyirányú helyett kétirányú kommunikáció fog megvalósulni.



16. ábra. A navigációs rendszer jelenlegi (balra) és átdolgozott (jobbra) megoldása

A továbbfejlesztési célok közé tartozik a jelenleg a rover által biztosított NMEA adatok szűrése. Ennek következtében nem minden a rover által gyűjtött NMEA adat terhelné a navigációs rendszer csatornáit, hanem csak azok az információk kerülnének továbbításra, melyekre a rendszernek ténylegesen szüksége van, a későbbiekben feldolgoz és hasznosít.

Ábrajegyzék

1. ábra. Terelőbóják elhelyezésének folyamatábrája.....	3
2. ábra. A mobil robotplatform navigációs rendszerének blokkvázlata	5
3. ábra. Neobotix Mobile Robot MP-500 robotplatform.....	6
4. ábra. Universal Robot UR3 robotkar.....	6
5. ábra. Real-Time Kinematic (RTK) szisztéma [5].....	8
6. ábra. PX4 robotpilóta rendszer kommunikációs blokkvázlata [7].....	9
7. ábra. Node-ok közötti kommunikáció [4]	10
8. ábra. SIRIUS RTK GNSS bázisállomás.....	12
9. ábra. SIRIUS RTK GNSS rover.....	13
10. ábra. DA910 multi-band GNSS antenna	13
11. ábra. Pixhawk robotpilóta.....	15
12. ábra. A PX4 robotpilóta rendszer ROS2-es integrálásának szemléltetése	16
13. ábra. A mérést segítő eszközhálózat [4]	17
14. ábra. Általános GNSS vevő mérési eredménye.....	18
15. ábra. RTK mérés eredménye	18
16. ábra. A navigációs rendszer jelenlegi (balra) és átdolgozott (jobbra) megoldása	20

Irodalomjegyzék

- [1] National Coordination Office for Space-Based Positioning, „GPS: The Global Positioning System,” 2022 október 20. [Online]. Available: <https://www.gps.gov/>. [Hozzáférés dátuma: 2022 október 21].
- [2] J. Kadeřábek, V. Shapoval, P. Matějka, M. Kroulík és F. Kumhála, „Comparison of Four RTK Receivers Operating in the Static and Dynamic Modes Using Measurement Robotic Arm,” *Sensors (Basel)*, 21. kötet, 2021.
- [3] L. Meier, D. Honegger és M. Pollefeys, „PX4: A node-based multithreaded open source robotics framework for deeply embedded platforms,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Seattle, 2015.
- [4] Marxact, „The most universal RTK GNSS Receiver,” 2022. [Online]. Available: <https://marxact.com/uni-gr1/>. [Hozzáférés dátuma: 2022 október 21].
- [5] North Coast Media LLC, „GPS World. GNSS, Positioning, Navigation, Timing,” North Coast Media LLC, 2022. [Online]. Available: <https://www.gpsworld.com/>. [Hozzáférés dátuma: 2022 október 16].
- [6] USGS, U.S. Department of the Interior, „How are UTM coordinates measured on USGS topographic maps?,” [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/faqs/how-are-utm-coordinates-measured-usgs-topographic-maps>. [Hozzáférés dátuma: 2022 október 17].
- [7] VBOX Automotive, „Real Time Kinematic (RTK),” [Online]. Available: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/component/content/article/2-products/109-real-time-kinematic-rtk>. [Hozzáférés dátuma: 2022 október 10].
- [8] N. Boros, G. Kallós és Á. Ballagi, „Mozgástervező algoritmusok implementálása pályakiszolgáló mobilrobothoz,” in *Digitális Járműipari Kutatások - Mesterséges Intelligencia a mobilitásban*, Győr, 2022.