



Témalaboratórium beszámoló

Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Készítette:	Lestyán Ádám Barnabás
Neptun-kód:	FO6K58
Ágazat:	Bluetooth Helymeghatározás
E-mail cím:	lestyan.adam.01@gmail.com
Konzulens(ek):	Mogyorósi Ferenc
E-mail címe(ik):	ferenc.mogyorosi@edu.bme.hu

Bluetooth pozicionálás mérés adatainak elemzése

Feladat

A félév során a Témalaboratórium keretében meg kellett ismerkednem a beltéri Bluetooth alapú helymeghatározás módszereivel, főként az Angle of Arrival, azaz a érkezési szögön alapuló helymeghatározással és egyes eszközökkel, amiket a helymeghatározáshoz használnak.

A Bluetooth egy rövid hatótávolságú, vezeték nélküli rádiós technológia szabvány, aminek használatával adatokat lehet cserélni egymáshoz közel lévő eszközök között.

Az érkezési szögön (AoA) alapuló helymeghatározás során a jeladóból induló rádióhullámok kis időkülönbséggel érkeznek be a vevő (, ami egy antennából álló antenntömb) antennáiba és az időkülönbségek ismeretében kiszámítható a jeladó iránya a vevőhöz képest. Több vevő esetén az irányok metszetéből becsülhető a jeladó pozíciója.

A módszerek és eszközök megismerése után egy mérést kellett végrehajtanom Pintér Mátyás segítségével. A mérés során két antenntömböt helyeztünk el egymással derékszögben és egy jeladót 24 különböző ponton helyeztük el. Mindegyik mérési pontnál többek között rögzítettük, hogy a jeladót pontosan hol helyeztük el és, hogy az egyes időpillanatokban az antenntömbök milyen érkezési szöget számoltak.

A mérés után készítettem egy elemzést az adatokról a mért szögek pontosságára vonatkozóan. Az elemzésben ábrázoltam a szögek eloszlását antenntömbönként és összehasonlítottam a valódi szöggel, illetve ábrázoltam a két antenntömb által becsült helyeket.

2023/2024. 1. félév

1. A laboratóriumi munka környezetének ismertetése, a munka előzményei és kiindulási állapota

1.1 Bevezető

Beltéri helymeghatározást egyre több iparágban használnak és egyre többször Bluetooth alapon. Használatos például raktárakban alkalmazottak, eszközök nyílvántartására vagy kórházakban az életmentő felszerelések megtalálására.

Választásom azért esett a témára, mert elképesztőnek találtam, hogy egyes technológiákkal akár 2 centiméteres pontossággal is meg lehet határozni egy tárgy helyzetét és érdekelt, hogy milyen sokat tudna javítani az életünkön e technológia szélesebb elterjedése.

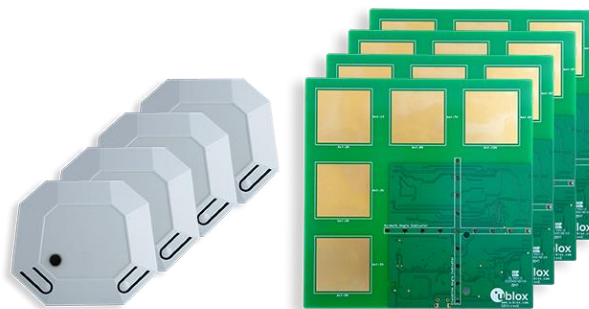
A feladatom során az u-blox cég által gyártott XPLR-AOA-2 csomaggal foglalkoztam. Ez a csomag tartalmaz 4 jeladót, 4 vevőt és a kiértékeléshez használatos szoftvert. Az én feladatom volt, hogy felmérjem, hogy milyen pontos a vevők által számított érkezési szög.

A feladat során Mogyorósi Ferenc és Pintér Mátyás segített nekem a feladatomban. Megismertettek a használt eszközökkel, a mérés módjával, a rendelkezésemre bocsájtottak egyes eszközöket és az adatok elemzéséhez használt projektet. A mérés elvégzésében Pintér Mátyás segített nekem.

Mogyorósi Ferenc volt a konzulensem, Pintér Mátyás pedig végzős hallgató, aki a szakdolgozatában ezzel a témával foglalkozott. A hivatalos segítségeken kívül mindig segítőkészek voltak, amikor egy-egy kérdéssel megkerestem őket.

1.2 Elméleti összefoglaló

A használt eszközök az u-blox cég által gyártott XPLR-AOA-2 csomag részei. Az jeladókat tag -nek hívjuk és a vevőket, az antenntömböket anchor -nek.

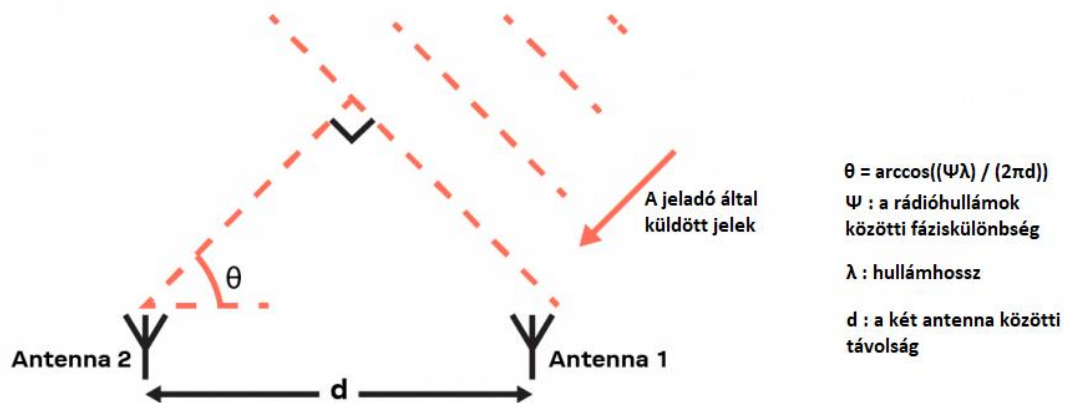


1. ábra. A használt eszközök: C209 jeladó (balra) és C211 antenntömb (jobbra)

A C209 jeladó folyamatosan, bizonyos időközönként Bluetooth 5.1 jeleket küld, amik egy-egy Bluetooth Low Energy (BLE) Advertisement üzenet. Manuálisan állítható a jeladón a jelek küldésének gyorsasága. A jeladó tudja 20, 100 vagy 1000 miliszekundomonként küldeni az üzenetet.

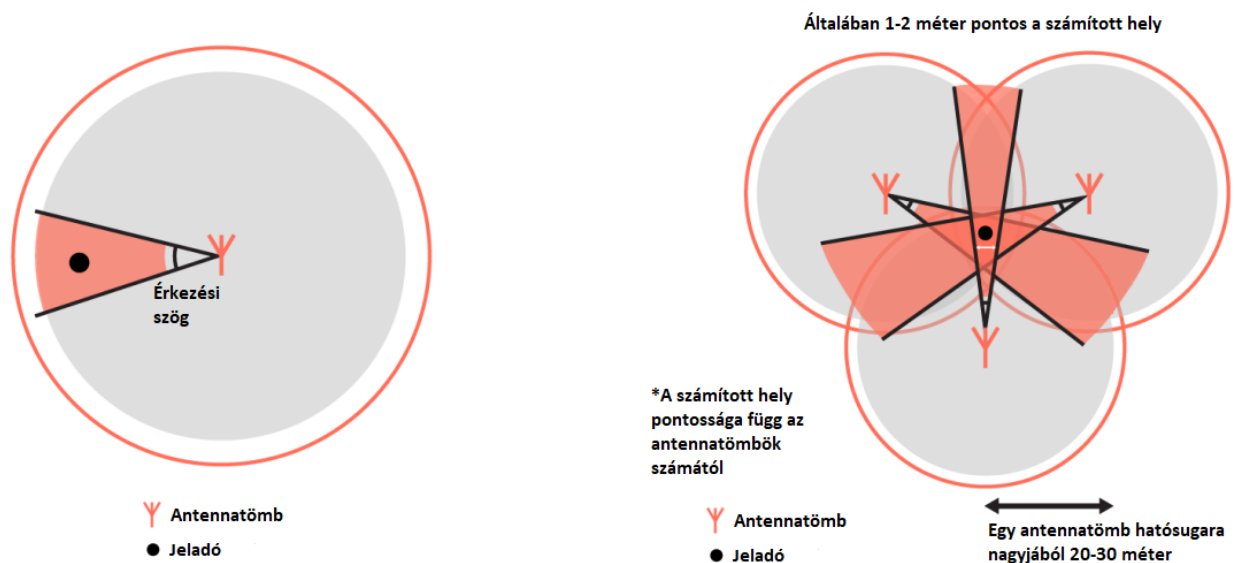
Egy C211 antenntömbön/-lapon 5 darab Bluetooth 5.1 antenna helyezkedik el. A jeladó által küldött jelek az egyes antennákat egymáshoz képest enyhe fáziskülönbséggel érik el. Feltételezve, hogy a jel síkhullámot terjeszt, az egyes antennáknál megfigyelt csekély fáziskülönbségek felhasználhatók az érkezési szög kiszámításához.

Az alábbi ábrán látható a számítás módja:



2. ábra. Az érkezési szög számítása fáziskülönbség segítségével [8]

Az érkezési szög tudatában meg lehet becsülni, hogy milyen irányban tartózkodik a jeladó, ha egy antenntömböt használunk, vagy több antenntömb esetén pontos tartózkodási helyet is lehet számolni háromszögelés használatával. Az érkezési szög az azimut szögnek nevezik.



3. ábra. A jeladó helyzetének becslése 1 (balra) és 3 (jobbra) antenntömb esetén [8]

1.3 A munka állapota, készültségi foka a félév elején

Voltak korábbi ismereteim rádióhullámokról, a Bluetooth -ról és ismertem a háromszögelést is. A nehézséget az okozta, hogy még nem kódoltam pythonban, viszont a segédletek, Mogyorósi Ferenc és Pintér Mátyás munkái nagyban megkönnyítették a dolgomat.

Dr. Alija Pašić által küldött python bevezetők hasznosak voltak és segítségükkel hamar el tudtam sajátítani a nyelvet. Pintér Mátyás munkájából könnyen meg tudtam érteni a használt ublox eszközök működési elvét és Mogyorósi Ferenc projektjében lévő adatelemző python notebook -ok segítségével nem okozott nagy nehézséget a mért adataim kielemezése.

2. Az elvégzett munka és eredmények ismertetése

2.1 Python és elméleti háttér

A félévi munkámat azzal kezdtem, hogy a Dr. Alija Pašić által küldött Python for Everybody[1] című könyvet elolvastam a python nyelvről és miközben haladtam a könyvben kipróbáltam a benne szereplő kódokat. A python alapjainak elsajátítása után megismerkedtem a python fontosabb könyvtáraival, amik szükségesek voltak az adatok elemzéséhez (pl.: pandas[2], numpy[3], matplotlib[4]).

A python után a beltéri helymeghatározással foglalkoztam. Megismertem a manapság elterjedt módszereket (pl.: WiFi, Bluetooth), ezek működési elvét és felhasználási területét. Utánanéztem az u-blox cég által gyártott termékeknek, elolvastam a XPLR-AOA-2 csomagban kínált eszközök leírását, felhasználói útmutatóját¹. Az u-blox honlapján lévő blogok² közül többet is elolvastam. Ezek a cikkek nagyon sokat segítettek megérteni az eszközök működési elvét és hogy mi mindenre lehet használni a beltéri helymeghatározást. AoA

Az u-blox eszközök érkezési szög (AoA – Angle of Arrival) alapján becsülik meg a jeladó tartózkodási helyét, ezért meg kellett értenem az érkezési szögön alapuló helymeghatározás elvét. Elolvastam online cikkeket³ a témával kapcsolatban és sikerült megértenem, hogyan számolják és mire használják a való életben az érkezési szöget.

2.2 U-blox eszközök

A Bluetooth alapú helymeghatározás elméleti háttérének megértése után előben is megismerkedtem az u-blox termékekkel. Találkoztam Mogyorósi Ferencsel és Pintér Mátyással, akik megmutatták az eszközöket, amikről eddig olvastam, majd beüzemeltük őket és végeztünk egy rövid próba mérést. Mogyorósi Ferenc megosztotta velem az általa készített Bluetooth Positioning Projektet GitHub -on és Pintér Mátyás a szakdolgozatának a vázlatát. Kölsönadtak továbbá nekem 2 C209 jeladót és 2 C211 antennatömböt, hogy otthon is tudjak foglalkozni az eszközökkel. A GitHub projekt használatához meg kellett ismernem az anaconda package managementet, ami egy eszköz, aminek segítségével a különböző python projektekhez telepített könyvtárakat elkülönítve lehet kezelni.

Az u-blox eszközök birtokában ki tudtam próbálni őket otthon és sikeresen adatokat küldtem a laptopomra.

2.3 Mérés

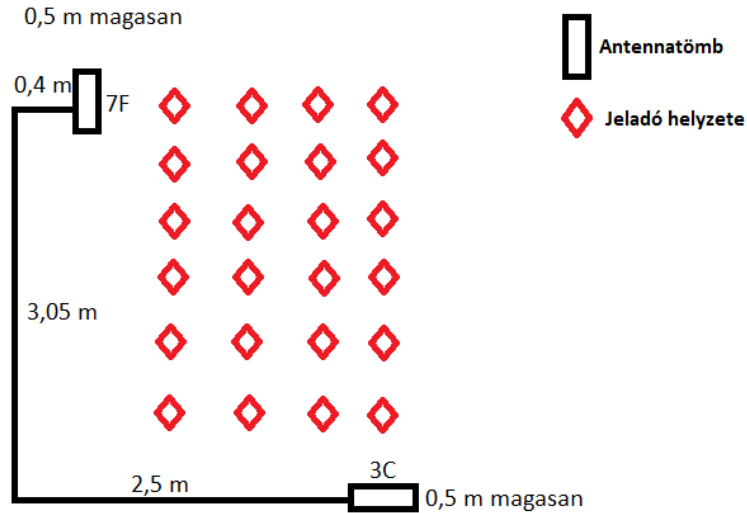
Az eszközök megismerése után Pintér Mátyás segítségével elvégeztem egy mérést. A méréshez két antennatömböt használtunk és elhelyeztünk egy jeladót 24 különböző ponton és mindegyiken rögzítettük többek között, hogy az antennatömbök milyen érkezési szöget számolnak.

Az egyes mérési pontokon 5-10 másodpercig rögzítettünk adatokat és az antennák 100-300 alkalommal számoltak érkezési szöget. Minden pont esetén rögzítésre került továbbá az antennatömbök és a jeladó helyzete.

¹ XPLR-AOA-1 and XPLRAOA-2 explorer kits User Guide[5], Bluetooth indoor positioning User guide[6]

² Bluetooth[7], Bluetooth Indoor Positioning[8], Getting started with RTLS[9], Indoor positioning solutions [10]

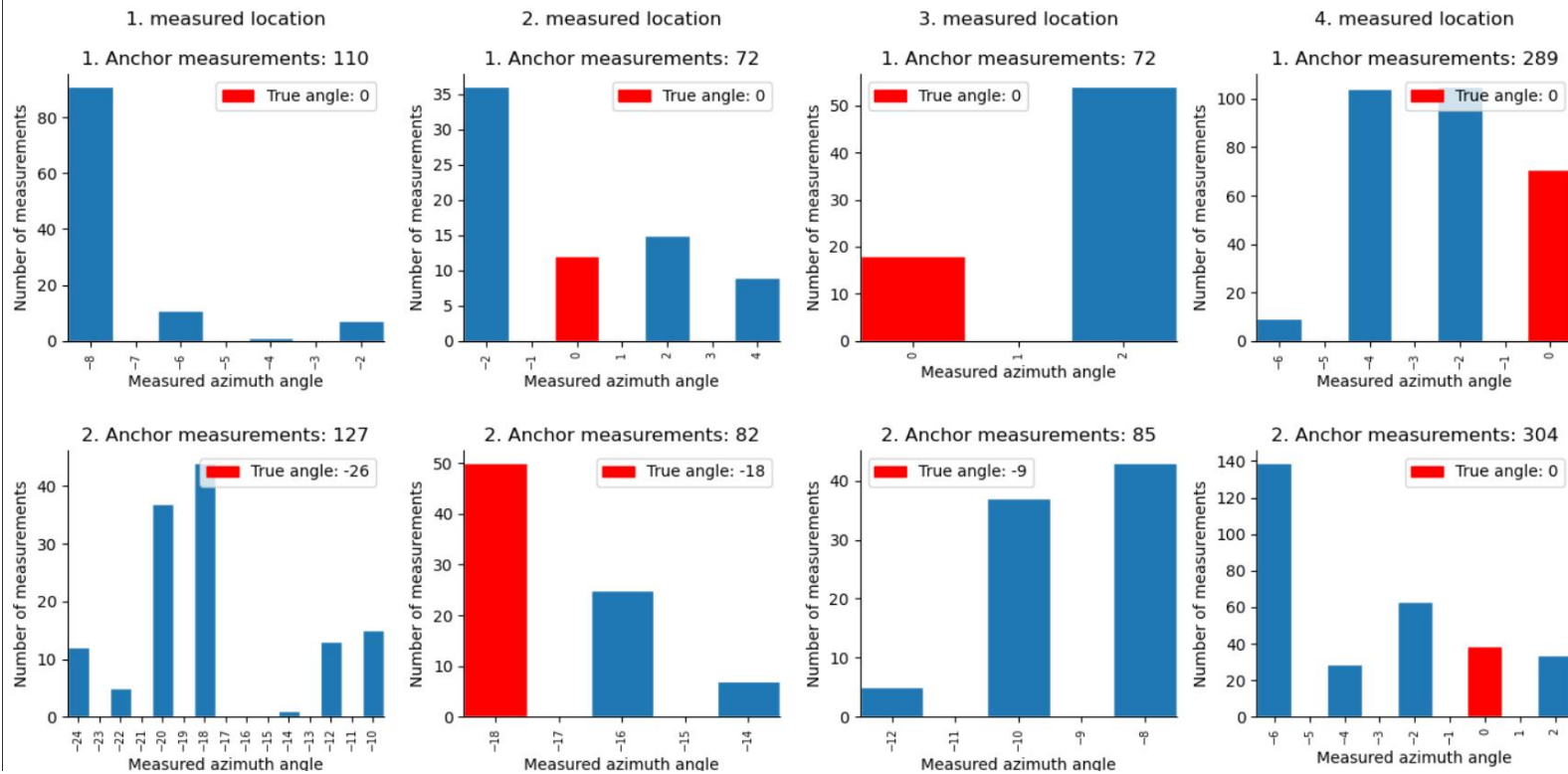
³ Using Angle of Arrival for Direction Finding with Bluetooth 5.1[11], Angle of Arrival (AoA): How It Works, How to Deploy, and Use Cases[12], Direction finding using Bluetooth Angle of Arrival [13]



4. ábra. Az antennatömbök és a jeladó helyzetei a mérés során

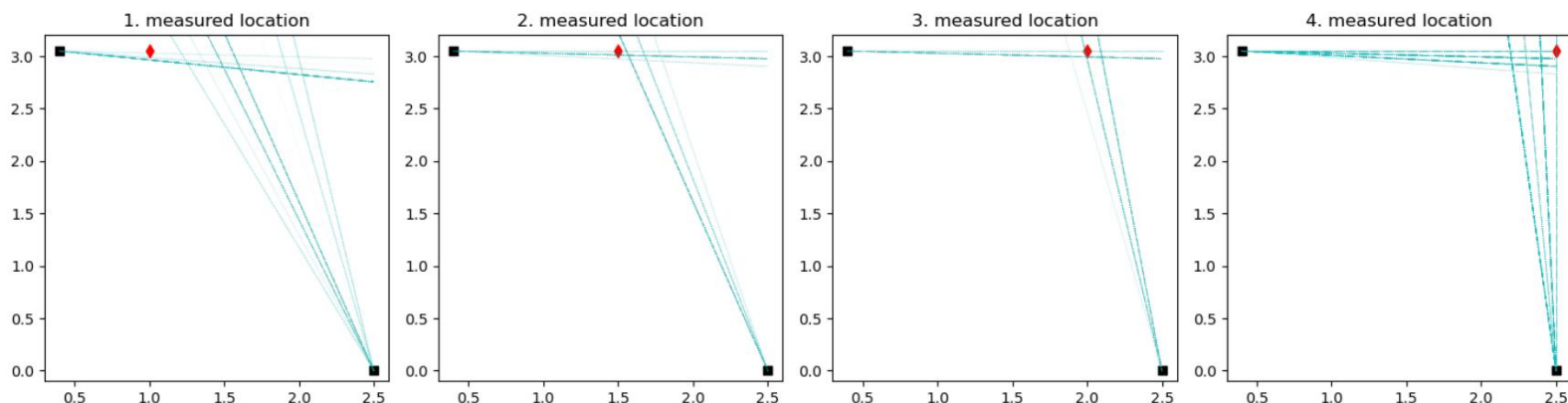
2.4 Elemzés

A mérés elvégzése után egy elemzést készítettem a mért adatokról. Az elemzés célja az volt, hogy megállapítsuk milyen pontosan mérte az érkezési szöget. Az elemzést egy jupyter notebook -ban készítettem el, aminek az az előnye, hogy egy fájl tartalmazhat python kódot, szöveget markdown formátumban, ábrákat, képeket és videókat is. A notebook egyszerre 4 mérési ponton rögzített adatokról készít elemzést. Két ábrát rajzol ki. Az elsőben az egyes antennatömbök által mért azimuth szögeket mutatja 8 hisztogramon. Pirossal ki van emelve a helyes szög. Az elemzés során nem vettük figyelembe a jeladó magasságát, mivel minden mérési pontnál egymagasan helyeztük el a jeladókat és az antennatömböket.



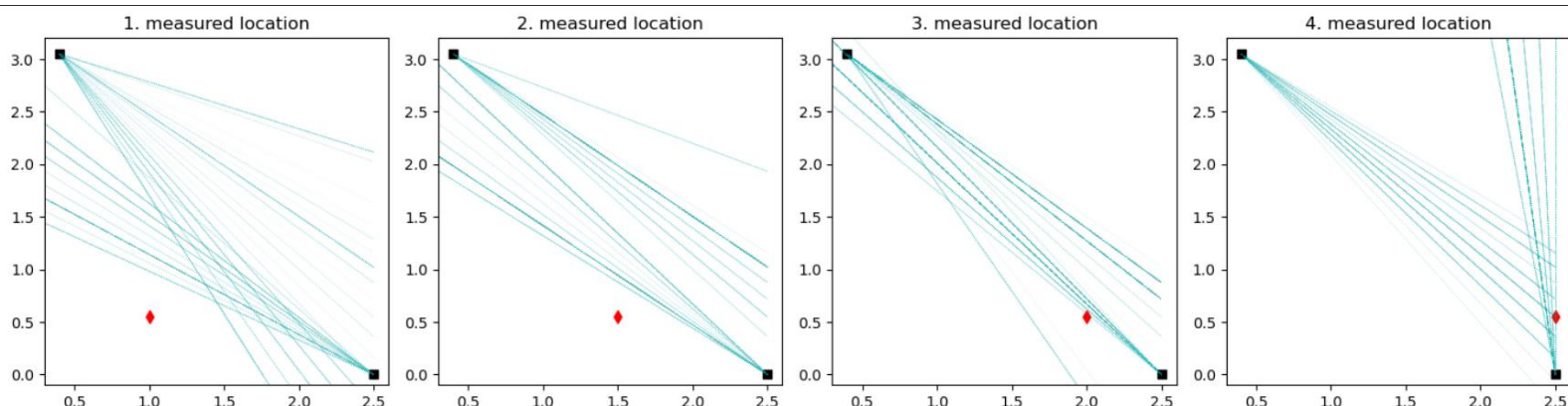
5. ábra. A két antennatömb által mért azimuth szögek 4 mérési ponton

A második ábra egy térképen ábrázolja a két antenntömböt (fekete négyzet), a jeladó pozícióját (piros rombusz) és antenntömbökből kiinduló félegyenéseket a számolt érkezési szög alapján. Az egyes félegyenések annál sötétebbek, minél többször lett számolva a hozzájuk tartozó érkezési szög.



6. ábra. A jeladónak az antenntömbök által becsült helyzete

Észrevehető, hogy minél nagyobb a mért érkezési szög, annál pontatlanabb lesz a becsült tartózkodási helye a jeladónak. Ez jobban látszik az alábbi ábrán.



7. ábra. A jeladónak az antenntömbök által becsült helyzete 4 másik mérési ponton

2.2 Összefoglalás

A témalaboratórium során a beltéri Bluetooth 5.1 technológián alapuló helymeghatározással foglalkoztam, azon belül pedig az érkezési szög alapján történő pozicionálással. A használt eszközök az u-blox cég által árult XPLR-AOA-2 csomagban árult C209 jeladó és C211 antenntömbök voltak, illetve a hozzájuk tartozó szoftver. Pintér Máttyás segítségével készítettünk egy mérést, amelyben többek között az antenntömbök által számolt érkezési szöget rögzítettük.

A mérés elvégzése után a rögzített adatokról készítettem egy elemzést python nyelven egy jupyter notebookban, amelyben ábrázoltam az antenntömbök által számolt érkezési szögek pontosságát kétfajta ábrán. Az elemzés alapján azt a megfigyelést tettem, hogy minél nagyobb az érkezési szög, annál pontatlanabb a mért szög.

8. Irodalom, és csatlakozó dokumentumok jegyzéke

a. A tanulmányozott irodalom jegyzéke:

- [2] Dr. Charles Russell Severance, *Python for Everybody: Exploring Data in Python 3*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016 április 09. , ISBN: 1530051126
- [3] *User Guide to pandas*, https://pandas.pydata.org/docs/user_guide/index.html, szerk.: pandas developers, 2023. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [4] *NumPy: the absolute basics for beginners*, https://numpy.org/doc/stable/user/absolute_beginners.html, szerk.: NumPy Developers, 2023. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [4] *Using Matplotlib User Guide*, <https://matplotlib.org/stable/users/index>, szerk.: Matplotlib development team, 2023. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [5] *XPLR-AOA-1 and XPLRAOA-2 explorer kits User Guide*, https://content.u-blox.com/sites/default/files/XPLR-AOA-Explorer-kits_UserGuide_UBX-21004616.pdf, szerk.: Iliu, mape, 2023. november 17. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [6] *Bluetooth indoor positioning User guide*, https://content.u-blox.com/sites/default/files/Bluetooth-Indoor-Positioning_UserGuide_UBX-21006395.pdf, szerk.: Iliu, 2023. július 20. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [7] *Bluetooth*, <https://www.u-blox.com/en/technologies/bluetooth>, szerk.: u-blox, 2020. szeptember 29. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [8] *Bluetooth Indoor Positioning*, <https://www.u-blox.com/en/technologies/bluetooth-indoor-positioning>, szerk.: u-blox, 2020. december 15. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [9] *Getting started with RTLS*, <https://www.u-blox.com/en/blogs/insights/rtls-getting-started>, szerk.: Lee Stacey, 2021. október 1. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [10] *Indoor positioning solutions*, <https://www.u-blox.com/en/indoor-positioning-solutions>, szerk.: u-blox, 2021. szeptember 30. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [11] *Using Angle of Arrival for Direction Finding with Bluetooth 5.1*, <https://navigine.com/blog/using-angle-of-arrival-for-direction-finding-with-bluetooth/>, szerk.: Vlad de Armas, 2023. december 1. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [12] *Angle of Arrival (AoA): How It Works, How to Deploy, and Use Cases*, <https://www.dusuniot.com/resources/technical-brief/the-benefits-of-ble-aoa-and-how-you-can-use-it-in-life/>, szerk.: DusunIoT, 2023. március 23. Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04
- [13] *Direction finding using Bluetooth Angle of Arrival*, <https://www.insightsip.com/news/in-the-press/631-direction-finding-using-bluetooth-angle-of-arrival>, szerk.: Dr Nick Wood, 2021. október Utolsó letöltés ideje: 2023-12-04

b. Csatlakozó egyéb elkészült dokumentációk / fájlok / stb. jegyzéke:

A mérési adatok elemzéséhez készített jupyter notebook:

https://drive.google.com/file/d/1no2_qITvQfenURnCNQT7K53dI2kETfd5/view?usp=sharing,

Lestyán Ádám Barnabás, 2023. november 23.