



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Megbízható kommunikációs kapcsolattal rendelkező földi irányító állomás fejlesztése UAV-hoz

SZAKDOLGOZAT

Készítette

Böjti Paszkál

Konzulensek

Vörös András, Dr. Bartha Tamás

2013. november 12.

Tartalomjegyzék

Kivonat	4
Abstract	5
Bevezető	6
1. Előzmények	7
1.1. Repülőgép felépítése	7
1.2. Hibatűrés	8
1.3. Vezeték nélküli modem	9
1.4. Földi állomások	9
1.4.1. ArduPilot	10
1.4.2. Paparazzi	11
2. Tervezés	12
2.1. Kommunikáció	12
2.2. Redundáns jelek feldolgozása	12
2.3. Feltöltés	12
2.3.1. Protokoll	12
2.4. GUI kialakításának szempontjai	13
2.4.1. Áttekintő képernyő	13
2.4.2. Tervező képernyő	13
2.4.3. Diagnosztikai képernyő	13
3. Megvalósítás	14
3.1. Főképernyő	14
3.2. Tervezés képernyő	15
3.3. Hibadiagnosztika	15
3.4. RS232	15
3.5. Sebesség	17
3.6. Irány	17
3.7. GUI	18
4. Értékelés	19

5. Összefoglalás	20
Függelék	22
F.1. Függelék1	22

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Böjti Paszkál*, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (Böjti Paszkál, Megbízható kommunikációs kapcsolattal rendelkező földi irányító állomás fejlesztése UAV-hoz, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, 2013, Vörös András, Dr. Bartha Tamás) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálóján keresztül (vagy autentikált felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Budapest, 2013. november 12.

Böjti Paszkál
hallgató

Kivonat

Napjainkban egyre nagyobb teret hódít a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása. Az 1960-as években a hadszíntéren jelentek meg először, ahol megfigyelésre, felderítésre és olyan feladatokra használták, ahol kockázatos lett volna emberi életet veszélyeztetni. Az utóbbi években praktikussága, alacsony üzemeltetési költségei miatt más területeken is hasznosnak bizonyult ez a technológia, pl. geológia mintázatok kutatása, mely az emberi perspektívából nehezen észlelhető, tűzoltósági alakulatok koordinálása, otthoni hobby felhasználás.

Az MTA-SZTAKI Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratóriumában kidolgozott szabályozó algoritmusok gyakorlatba való átültetésére egy pilóta nélküli járművet hoztak létre, mely a biztonságos üzemeltetés mellett, illetve az esetlegesen előfordulható hibák ellen redundáns hardware elemekkel védekezik. Szakdolgozatom keretében ennek a repülőnek a földi állomását dolgoztam ki, mely a redundánsan küldött rádiójelek feldolgozására és megfelelő megjelenítésre használandó. A földi személyzet mozgó térkép alapú vizualizáción láthatja az aktív útvonalpontokat és a gép útvonalát, a diagnosztikai adatokat és esetleges hibákat egy másik nézetben áttekintheti. Lehetőség nyílik repülési terv meghatározására és feltöltésére a repülőre, melynek fordulópontjait követi.

Abstract

Nowadays..

Bevezető

[1]A pilóta nélküli légi jármű gondolata egészen a XX. század elejére nyúlik vissza, mikor az I. világháborúban egy olyan távirányítású repülőt alkottak, mely robbanószerrel a fedélzeten a célpontba csapódva okozott kárt. Később a vietnámi háborúban több mint 3000 küldetésben vett részt ilyen repülő és mindössze 554 veszett oda. A technológiai korlátok miatt a fő funkcionalitása videó felvétel készítése egy meghatározott útvonalon (általában egyenes vonal, körökkel kiegészítve) repülve, majd a bázisra való visszaérkezés. A rádió-technika fejlődése miatt egyre összetettebb feladatok elvégzésére lettek képesek. A nagyobb átviteli sebességnek köszönhetően valós időben, monitoron keresztül kezelheti az operátor a távirányítású repülőt. A mai UAV-k több üzemmódot is támogatnak, egyik az előbb említett távirányítás, másik a fedélzeti intelligenciára hagyatkozó. Mind a hagyományos repülőiparban, mind ebben az érában, szükséges és célszerű az emberi terhelés csökkentése, utasszállító gépek esetében is a robotpilóta elvégez minden olyan korrekciót, melyet azelőtt a pilóta folyamatos figyelésével, koncentrációjával lehetett elérni. A modern integrációnak köszönhetően, olyan fejlett feldolgozóegységgel dolgozhatjuk fel az adatokat, melyeknek nem jelentős a fogyasztása, nem foglalnak sok helyet. A szenzorokból érkező információkra, az algoritmusoknak köszönhetően úgy képes reagálni, hogy az nem veszélyezteti a repülő levegőben maradását. Ám hiába a fejlett hardware, a valóban automatikus üzemeltetés még mindig távoli cél, emberi beavatkozás mindig is kelleni fog olyan helyzetekben melyre nincs előre felkészítve az intelligenciája. Ilyen esetekben létfontosságú, hogy az operátor lássa a gép aktuális pozícióját, diagnosztikai adatait.

Dolgozatomban áttekintem a legjelentősebb nem katonai fejlesztésű UAV-khez készült földi irányító állomások tulajdonságait, az ezekből levont következtetéseket tervezési fázisban felhasználom. Bemutatom a kommunikációhoz használt vezeték nélküli modemet, annak a rendszerbe illesztését. Kidolgozom a redundáns jelek feldolgozását, azok felhasználóbarát megjelenítését, továbbá a vissza-irányú kommunikáció protokollját, ennek tervezési módszerét. Végül a térkép alapú vizualizáció megoldását valósítom meg.

1. fejezet

Előzmények

Feladatom egy olyan grafikus felhasználói felülettel ellátott földi irányító állomás kifejlesztése egy biztonságkritikus robotrepülőhöz, ami képes a redundáns kommunikációs csatornán küldött adatok kezelésére és megjelenítésére. Ehhez szükséges megoldanom a kapcsolatot biztosító modem jeleinek vételét. Mivel hibatűrő kialakítása révén redundánsan szerelt, így a párhuzamos csatornákon érkező adatok egymástól való eltérésének a kijelzése is megvalósítandó. Az eltérésnek több oka is lehetséges, előfordulhat, hogy az egyik meghibásodásából következően nem küld semmilyen értéket vagy amit küld az teljesen hibás, Továbbá, ez a program a földön tartózkodó személyzet kiszolgálására készül, így ami a legfontosabb, hogy ők a repülővel kapcsolatos információkat könnyen értelmezhessék. Így szükséges megoldani, hogy a kialakítandó felület felhasználóbarát legyen, ehhez több nézeti oldal szükséges:

- Egy áttekintő képernyő, mely a legfontosabb adatokat jeleníti meg a repülővel kapcsolatban (pozíció, sebesség, irány)
- Egy tervező modul, amin a lerepülendő útvonalhoz tartozó fordulópontok kijelölése lehetséges
- Egy diagnosztikai nézet, melyen az alacsonyabb prioritású adatok tekinthetők át

1.1. Repülőgép felépítése

Az MTA SZTAKI-ban futó „Nagy megbízhatóságú pilóta nélküli légi jármű projekt” keretében egy olyan avionikai rendszer fejlesztése folyik, amelyben cél minden egyes repülőgép alrendszer meghibásodásának diagnosztizálása, a diagnosztikai információkat felhasználva a repülőgép átkonfigurálása. A megbízhatóság növelése érdekében redundáns hardware elemekkel szerelték a repülőgépet, melyek:

- motor
- kormányfelületek és ezeket mozgat
- tápellátás

- A jelenlegi repülő egy saját építésű 3.2 m fesztávolságú modell, melybe diagnosztikai és hibadetekciós célokra egyedi tervezésű komponensek kerültek. A kommersziális célokra szánt servo motorok nem szolgáltatnak elég információval a kitérésükről, fogyasztásukról, ezért ezek méréséről gondoskodni kellett.



jutnak, ahol a feldolgozás után a szabályozó algoritmusok kiadják a megfelelő utasítást a kormánysszerveknek. Ilyen utasítás lehet pl, a csűrőlapok adott fokban történő elmozdítása, motor fordulatszámának változtatása. A motorok, úgy mint a központi egység, külön tápellátást kapnak, ezzel is csökkentve a végzetes meghibásodás esélyét. A dolgozat szempontjából egyik legfontosabb elem a kommunikációért felelős modem, mely soros porton keresztül kapcsolódik az FCC-hez. A vevő oldalon hasonló modem, szintén soros porton küldi a földi állomásnak a vett jelet, a köztük lévő vezeték nélküli kommunikáció saját szabványa a gyártónak. A választás [12]XBee-PRO 868 típusú modemre esett, mely alacsony fogyasztása és nagy hatótávolsága miatt ideális egy ilyen környezetbe.

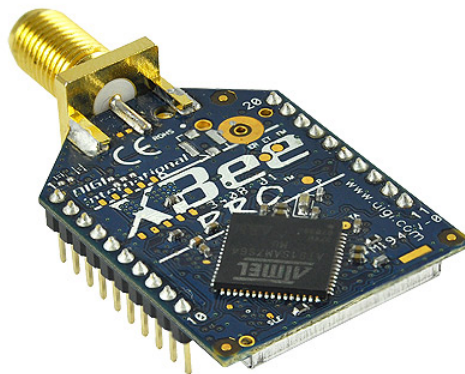
1.3. Vezeték nélküli modem

A kiválasztott modem kétféleképpen képes kommunikálni egy másik modemmel:

- API csomagküldés
- AT transzparens

API módban egy eszköz több eszköztől tud csomagokat venni, ha egy csomag megérkezett a küldőtől a fogadóig, egy ACK¹ üzenettel válaszol, ha ezt nem kapja meg, újraküldi. Egy csomag többek közt tartalmazza a küldő és a fogadó címét, lehetőség van broadcast üzenetek küldésére is, melyet minden eszköz megkap. Továbbá az adatintegritás céljából checksum mezőjében összesítve van egy csomag adata.

AT mód nem más mint egy vezeték nélküli kapcsolat 2 sorosport közt. Nem csinál mást, mint a soros portján bejövő adatokat egy XBee szabvány szerint rádiójelekké alakítja, melyet a virtuális kapcsolat végpontja fogad és visszaalakítja sorosportra. Ez pont-pont kommunikációra hivatott.



1.3. ábra

1.4. Földi állomások

Egy UAV vezetéséhez elengedhetetlen egy bázis, ahonnan a földi személyzet irányítja, monitorozhatja a repülést. Általában több funkciót lát el:

¹Acknowledgement, nyugtázó üzenet

- Küldetés tervezés: útvonal meghatározása, illetve a célpontok kijelölése
- Adatok megjelenítése: megfelelő módon kijelezni a repülőgép állapotát, esetleges hibát.

Számos megoldás született a földi állomás GUI²-jának kialakítására. Elsődleges követelmény, hogy az operátor mindig a legfontosabb információkat láthassa, ehhez szoftverergonomiailag kell megtervezni a műszerek, adatok elrendezését. Az alábbiakban összehasonlításra kerülnek a megjelenítési felületek.

1.4.1. ArduPilot

Az Ardupilot projekt létrejöttének motivációja, hogy otthoni körülmények között, nem ipari alkatrészekből bárki összehasonlításon egy autonóm járművet, mely az előre betáplált utasításokat végrehajtja. Központi eleme az Arduino cég által készített ATMel mikroprocesszorra épített platform, mely felhasználóbarátabbá teszi a mikroprocesszor programozását. Magas szintű utasításokkal segíti az eszközzel való barátkozást, nincs szükség assembly szintű tudásra. Erre a platformra hozták létre az ArduPilot programot, képes vezérelni többféle autonóm járművet:

- robotrepülőgép
- ArduCopter néven futó változata 4, 6 propelleres helikopter
- 4 kerekű autó

Sikerességének fő oka, a nyílt forráskód, egy Arduino panel alacsony ára (5 ezer Ft) és a projekt mögött álló lelkes közösség.

Ennek a közösségnek köszönhetően született a Mission Planner nevű szoftver, mely teljes körű támogatást nyújt a járművekkel kapcsolatban.

Főképernyő

Több nézet segítségével könnyen átlátható a funkcionalitása, repülés szempontjából a főképernyőn a legfontosabb adatok találhatóak. A repülőgép orientációját, sebességét, irányát egy műhorizonton láthatja a felhasználó, ez vizuálisan szemlélteti, hogy hány fokos bedöntéssel repül, milyen állásszöggel emelkedik. Alatta lévő területen előre beállított adatokat jelenít meg, pl. GPS magasság, GPS sebesség, szélirány(valós mágneses irány és a sebesség vektor különbségéből számítható). A legnagyobb területet a térkép foglalja el, melyen az aktuális irány, lerepült útvonal, fordulópontok láthatóak. Megfigyelhető, hogy ez kapja arányaiban a legnagyobb területet.

²Graphics User Interface, grafikus megjelenítés



1.4. ábra

Ez a nézet akkor jöhet jól, mikor olyan meghibásodás történik, melyre nincs felkészítve az irányítóegység és szükséges lehet a kézi üzemmódra váltás. Előfordulhat ilyen esetben, hogy nincs vizuális rálátás az operátor és a repülőgép között, ekkor csak az itt látható műszerek és térkép alapján szükséges irányítani. Szerencsére ez az avionikában már bizonyított, hogy műszerek segítségével, „vakon” is lehetséges repülni, itt azonban ez az eset csak pár percig szükséges.

Tervező és útvonalfeltöltő

Másik nézet lehetőséget biztosít útvonalpontok kijelölésére, az útvonalpontokhoz egy listából kiválasztható, hogy az adott pont a start-, forduló-, végpont. Az útvonalpontok pozícióját egérrel módosíthatjuk, törölhetjük. Bal felső sarokban a kijelölt tervnek hosszát láthatjuk, ez segítséget nyújt, nehogy túlhaladjuk a rádiókapcsolat és a repülő hatósugarát. Az elkészített tervet feltölthetjük a csatlakoztatott eszközre.

Beállítások

Terminál

1.4.2. Paparazzi

Ez egy több platformos GCS, mely különböző projektekben létrehozott repülőkhöz használható valós-idejű monitorozásra. Könnyen testre szabható az igényeknek megfelelően.

2. fejezet

Tervezés

Tervezés részletes leírása, a döntési lehetőségek értékelése és a választott megoldások

2.1. Kommunikáció

A kommunikáció csatornánként 2 db modem segítségével történik, a modemek egymás közt vezeték nélkül csatlakoznak, felhasználó oldalon soros portot biztosítanak. Így az elkészítendő programnak elég csak egy soros portra csatlakoznia. Az előre meghatározott átviteli értékek alapján képes fogadnia repülőről érkező csomagokat.

2.2. Redundáns jelek feldolgozása

A redundanciából következően külön, külön kell kezelni a 2 párhuzamos csatornán kapott adatokat. Mivel aszinkron módon érkeznek a csomagok, így kettő tároló kell, mely a legutóbb küldöttet tárolja.

2.3. Feltöltés

A repülőgép által lerepülendő feladat útvonalpontjait hasonlóképpen, mint az adatok fogadását, vezeték nélküli csatornán küldjük fel. A feltöltendő adat küldésének protokollja létfontosságú, mivel ha valamilyen hiba kerül a kommunikációba akkor az akár végzetes is lehet. Gondolok itt olyan hibára, hogy egy fordulópont koordinátája úgy kerül feltöltésre, hogy az kiesik a repülő hatósugarából és ezzel nem számolva, lemerül a tápellátást szolgáló akkumulátor. Az ilyen hibák ellen célszerű a feltöltés protokolljába hibadetektálást építeni, hogy ezek a feldolgozás(esetlegesen felszállás) előtt kiderüljenek ki.

2.3.1. Protokoll

Több megoldás is lehetséges a fordulópontok feltöltésére:

- Rögzített maximális darabszám elküldése egy csomagban
- Változó darabszám esetén egy fordulópont egy csomagban

Az első megoldásban rögzítenénk a fordulópontok maximális számát. Mely azt eredményezné, hogy egy csomagban el lehetne küldeni az egész lerepülendő feladatot. Ha egy pont koordinátájának ábrázolására elég 2x4 byte, így ha feltételezünk egy 160 byte-os csomagot, akkor abba beleférne kb 15 darab. Egy csomag állna egy fejlécből, a feltöltendő pontok számából, a pontokból, és egy checkszámból.

Másik lehetőségénél N db-t lehetne feltölteni: egy csomag szerkezete: fejléc, küldendő pontok száma, aktuális pont sorszáma, koordinátái, checkszám. Ha a küldendő pontok száma és az aktuális pont sorszáma megegyezik és megérkezett minden csomag akkor ACK-val válaszol ha kész a feltöltés.

Mivel az eddig használt megoldásban a kódba „bele volt égetve” az útvonalterv, mely 5-6 pontot tartalmazott, az első megoldás tűnik kedvezőbbnek. Fogadó oldalon is könnyebb egy ilyen lehetőségre felkészíteni. Ha esetlegesen a jövőben több fordulópontot feltöltésére lesz igény, az is megoldható kis átprogramozással.

A modem is duplikált, így a 2 soros portra csatlakoztatott modemmel redundánsan küldjük el a csomagot. Ha a csomag sértetlenül megérkezett, ACK jelzéssel válaszol.

2.4. GUI kialakításának szempontjai

Az előző fejezetben ismertetett grafikus felületekből levonva a következtetéseket, nyilvánvaló, hogy a GUI kialakításában fontos a repülőgép aktuális pozíciójának térképen való mutatása, az repülési állapot könnyen értelmezhető megjelenítése, illetve az esetlegesen előforduló problémák feltűnő jelzése.

2.4.1. Áttekintő képernyő

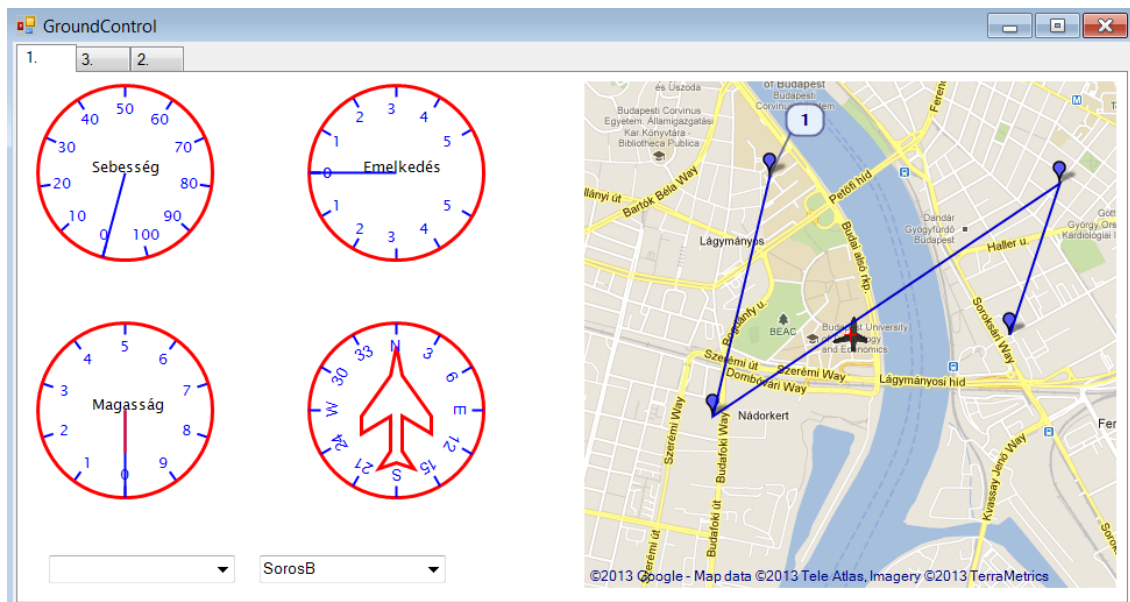
2.4.2. Tervező képernyő

2.4.3. Diagnosztikai képernyő

3. fejezet

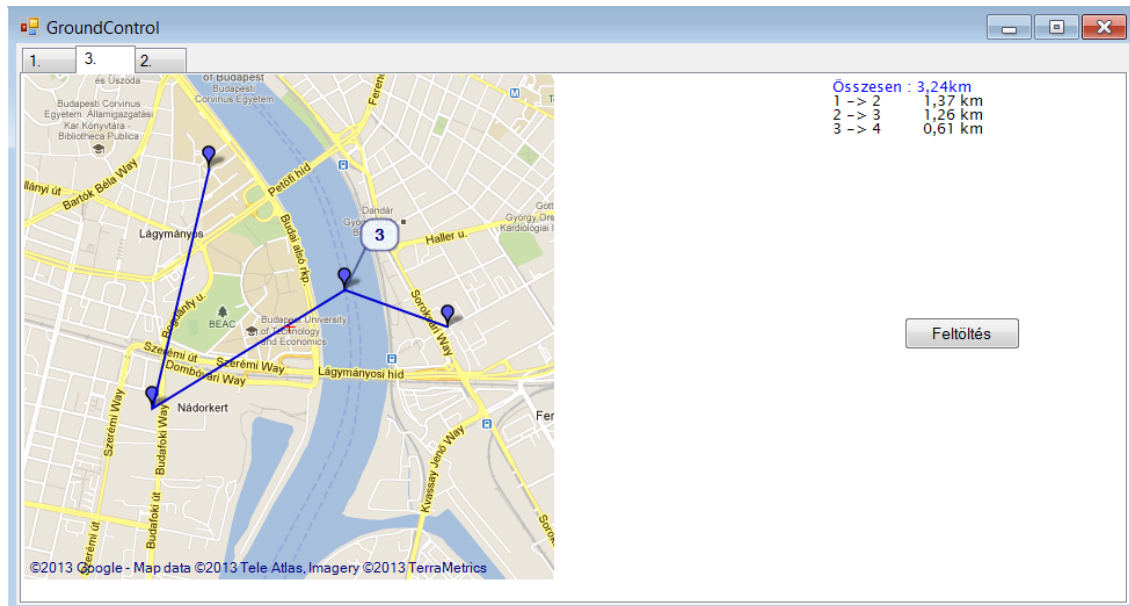
Megvalósítás

3.1. Főképernyő



3.1. ábra

3.2. Tervezés képernyő

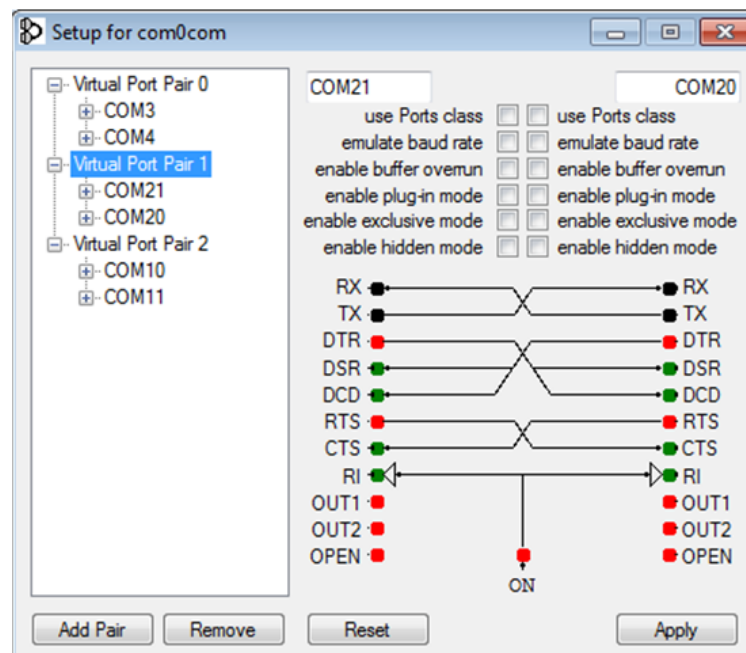


3.2. ábra

3.3. Hibadiagnosztika

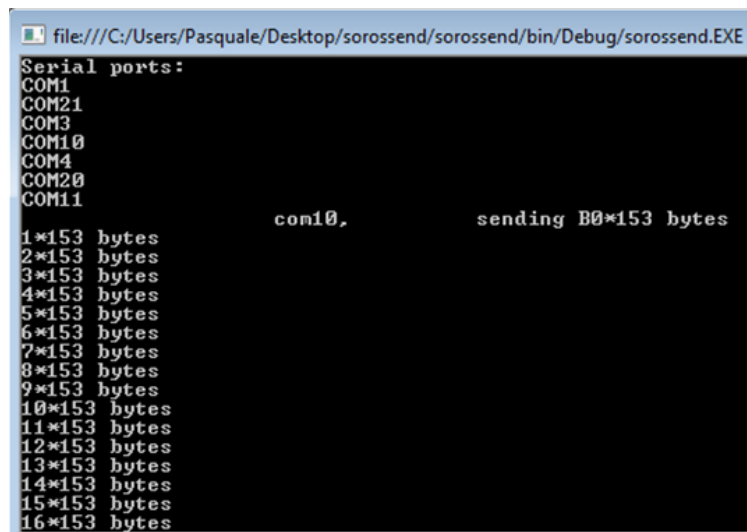
3.4. RS232

A modemből érkező adatokat soros porton keresztül fogadja a program, a tesztkörnyezet felállításához HIL adatok szolgáltak. A küldött log fájlokat egy programmal beolvasom és egy [11]null-modem segítségével sorosporton keresztül küldöm a megfelelő portra.



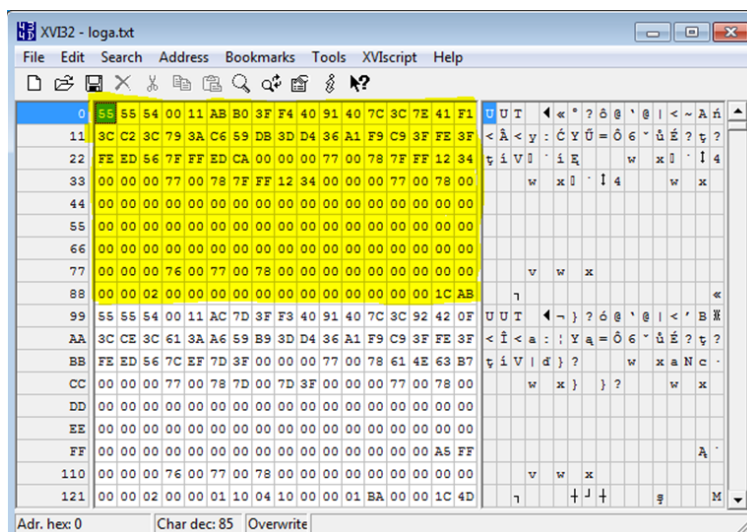
3.3. ábra

Beállítottam 2 párt, COM20-COM21 és COM10-COM11 közt, a pároson küldöm, páratlanon fogadom az üzeneteket.



3.4. ábra

153 bájt egy csomag, melyet egy UUT 3 bájtos fejléc és egy 2 bájtos checksum zár. A checksum a hasznos bájtok 16 bitre csonkolt összege. Minden fogadott csomagnál, a feldolgozás előtt kiszámolom az összeget és ellenőrzöm, az egyezést, a rossz csomagok egyelőre eldobásra kerülnek.



3.5. ábra

Fogadó oldalon a két sorosport aszinkron ír 1-1 byte tömböt, melyből egy dekódoló függvénnyel nyerjük ki a sebesség, pozíció, irány, stb. adatokat.

```
public double[] Decode(byte[] array)
```

Ebben a függvényben ellenőrzöm, a checksum-ot, illetve a kezdő UUT bájt hármast. Mivel bájtosával lehet feldolgozni az adatokat, így pl. a 4 bájtos időbélyeget 4 db egymás után jövő bájtból kell összerakni:

```
uint ido = (uint)array[3]<<24 | (uint)array[4]<<16 |
(uint)array[5]<<8 | (uint)array[6];
```

Ugyanígy folytatódik az adatok feldolgozása, az előre megadott protokoll szerint.

bájt index	leírás	típus	skálázás	offset
1	start	char(fix 'U')		
2	start	char(fix 'U')		
3	start	char(fix 'T')		
4	idő 1/4	unsigned int	10000	0
5	idő 2/4			
6	idő 3/4			
7	idő 4/4			
...				
26	északi irány 1/2	unsigned short	0x7FFF/400	200
28	keleti irány 1/2	unsigned short	0x7FFF/400	200
30	lefelé irány 1/2	unsigned short	0x7FFF/400	200
...				

Mivel a változások Hamming-távolsága¹ kicsi lenne, az eredeti számbábrázoláson, így skálázással és offset képzéssel megnöveljük. A sebesség adatoknál a visszakódolás:
eredeti = (*nyersadat/skalazas*) – *offset* képlettel oldható meg.

3.5. Sebesség

A sebesség NED² koordinátarendszerben van megadva, mely a repülő középpontjából indul. Mivel kis magasságban repül a repülő, így síknak közelíthetjük a Föld felületét, ez számítások szempontjából előnyös, mivel könnyebb vele dolgozni. A sebesség számítási módja: $\sqrt[2]{(V_E)^2 + (V_N)^2}$
Emelkedés: $-V_D$

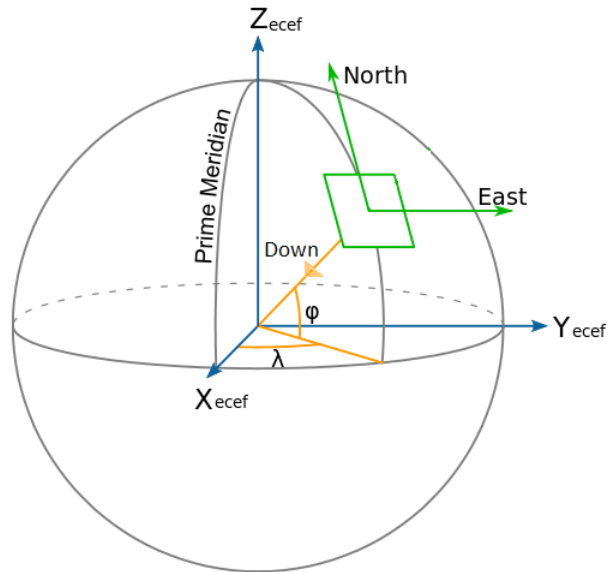
3.6. Irány

Az irány meghatározásához a 4 negyedsíkot külön kellett választani:

```
if (Ecomp > 0 && Ncomp > 0)
{
heading = Math.Atan(Ecomp * Ncomp);
}
else if (Ecomp > 0 && Ncomp < 0)
{
heading = Math.Atan(Ecomp * Math.Abs(Ncomp)) + 90;
```

¹Bináris számok XOR képzésével kapott 1-esek száma

²Nort East Down, Local Tangent Plane, helyi koordináta rendszer



3.6. ábra. Koordináta rendszer

```

}
else if (Ecomp < 0 && Ncomp < 0)
{
heading = Math.Atan(Math.Abs(Ecomp) * Math.Abs(Ncomp)) + 180;
}
else if (Ecomp < 0 && Ncomp > 0)
{
heading = Math.Atan(Math.Abs(Ecomp) * Ncomp) + 270;
}

```

3.7. GUI

A grafikus felület kialakítása során figyelembe kell venni, hogy első ránézésre a legfontosabb adatok látszódnak. Kettő fül közül az első oldalon a legfontosabb műszerek találhatóak, jobb oldalon egy Google Maps térkép. A térkép egy lokális cache-ből tölti be az előre letöltött térképszelvényeket, így a terepen lehetőség van offline módon is használni ezt a funkciót.

4. fejezet

Értékelés

Megtervezett műszaki alkotás értékelése, kritikai elemzése, továbbfejlesztési lehetőségek

5. fejezet

Összefoglalás

SZUMM

Irodalomjegyzék

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle, 2013. május 4, 10:00
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Hewitt-Sperry_Automatic_Airplane, 2013. május 4, 10:00
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_combat_air_vehicle, 2013. május 4, 10:00
- [4] <http://www.defenseindustrydaily.com/uav-ground-control-solutions-06175/>, 2013. május 4, 10:00
- [5] http://api.ning.com/files/ga5AVWy8xTu8cx9rHdzJ73Epc*dzb0uy*UPe0O8wFxogMF6WNRW8StK3xzkG2iBk16kNFpYTZe80NgM8kbXOiyrEwUXIt/GroundControlStation.pdf, 2013. március 19., 15:00
- [6] <http://www.rodiangroup.com/uav-ground-control-station.html>, 2013. március 19., 15:00
- [7] <https://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/HappyKillmore>, 2013. március 19., 16:00
- [8] http://www.vikingaero.com/uav_ground_control_station.html, 2013. március 19., 16:00
- [9] <http://www.mono-project.com>, 2013. március 19., 17:00
- [10] <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.io.ports.serialport.aspx>, 2013. március 20, 10:00
- [11] <http://com0com.sourceforge.net/>, 2013. május 4, 10:00
- [12] <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-pro-868>, 2013. október 29, 14:00

Függelék

F.1. Függelék1