

Árvai László
laszlo.arvai@gmail.com

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK FÖLDI ÁLLOMÁSAINAK TERVEZÉSI KÉRDÉSEI

Absztrakt

A pilóta nélküli repülőgépek biztonságos és hatékony üzemeltetéséhez a repülőeszközön kívül számos egyéb kiegészítő rendszerre van szükség. Ezek egyike a földi állomás, amely még két újabb fontos alegységre tagolható. Egyrészt tartalmaz bizonyos hardver komponenseket, másrészt pedig az ezeken futó, illetve az ezeket működtető szoftvereket. A földi állomás szoftverének számos elvárásnak kell megfelelnie – a teljesség igénye nélkül – könnyen kezelhetőnek, rugalmasnak, biztonságosnak, hatékornak kell lennie. Szükséges, hogy egy ilyen szoftver fejlesztésének az első lépése gondos tervező munka legyen, hiszen csak így biztosítható a lehető legtöbb kívánalom a lehető legmagasabb szinten történő teljesítése. Egy ilyen tervezési folyamatot mutat be az a cikk.

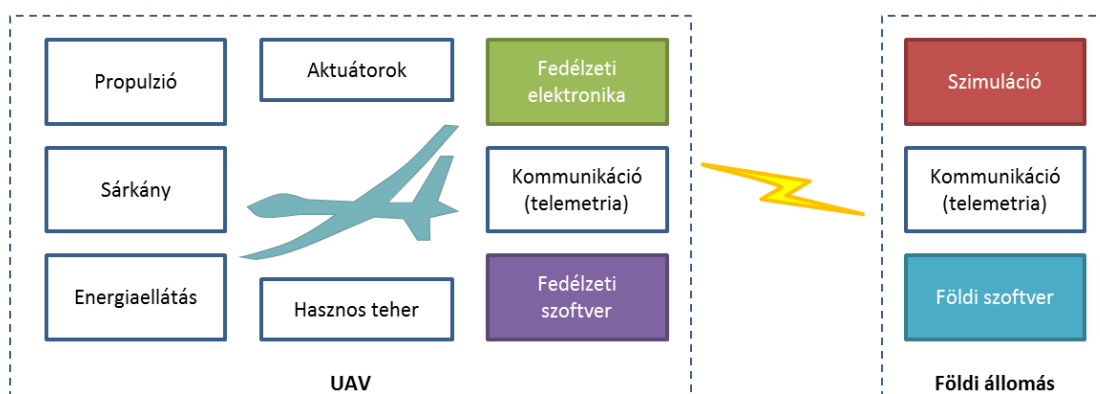
For the efficient and safe operation of any Unmanned Aerial Vehicle several auxiliary subsystems required than simply the aircraft itself. One of the required subsystems is the Ground Station. The Ground Station has at least two subsystems as well. It contains hardware components and software components running on it or operating the hardware components. There are several requirements for the ground station software - without mentioning all – it must be user friendly, flexible, safe and efficient. Therefore the first step of the development of the Ground Station Software must be a carefully executed design procedure otherwise the requirements can't be fulfilled at the highest level.

Kulcsszavak: UAV, pilóta nélküli repülő eszköz, földi állomás, szoftvertervezés ~ UAV, software planning, ground station

BEVEZETÉS

Egy pilóta nélküli repülőgép (UAV¹) működéséhez számos rendszer harmonikus egységére van szükség. A legfontosabb összetevőket mutatja az 1. ábra.

A két legnagyobb rendszer egyike maga a repülőgép (vagy repülőeszköz) és az azon található fedélzeti rendszerek, a másik pedig a földi állomás (az egyéb, nem elektronikus rendszerek, mint például a földi kiszolgálás, logisztika, stb. tárgyalása már túlmutatna e cikk keretein, ezért csak a fontosabb elektronikus rendszereket tárgyaljuk). Az UAV és a földi állomás között természetesen vezeték nélküli kapcsolat áll fent, amely egyrészt szolgáltatja a telemetriás adatokat, másrészt lehetőség van a földi állomáson keresztül parancsokat adni, például módosítani a repülési pályáját. Természetesen a hasznos teher is igénybe veheti a kommunikációs csatornát (vagy rendelkezhet sajátjal is, amennyiben ez indokolt (például valós idejű video átvitel, mérési, megfigyelési adatok online sugárzása)).



1. ábra. Egy pilóta nélküli repülőgép fontosabb elemei

A földi állomás teszi lehetővé, hogy az operátor kommunikálhasson az esetleg már jelentős távolságban található repülőeszközzel, figyelemmel követhesse a működését, szükség esetén beavatkozhatson vagy akár át is vehesse az irányítást. Ezen kívül az UAV által gyűjtött adatok egy része vagy akár az egésze is megjeleníthető a földi állomáson, illetve a későbbi feldolgozásra szánt adatok tárolása, későbbi feldolgozása, megjelenítése is történhet ugyanitt.

Maga a földi állomás legalább két újabb alrendszerből áll. Áll egyrészt számos hardveregységből, másrészt az ezeken futó, illetve az ezeket üzemeltető szoftverekből. Csak ezen két rendszer hatékony együttműködése esetén végezhető el azok a feladatok, amelyekkel egy földi állomásnak működése során meg kell birkóznia.

HELYBŐL FELSZÁLLÓ PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP

A jelen cikkben ismertetendő UAV egy oktatási-kísérleti céllal fejlesztett berendezés. Ezért a földi állomással kapcsolatos követelmények is inkább ezt az irányt tükrözik, vagyis a megbízhatósági, robusztussági, mobilitási követelmények háttérbe kerülnek a rugalmasság, egyszerűség, alacsony költségek követelményeivel szemben.

A fejlesztési munka célja egy helyből felszállásra képes merevszárnyú, kísérleti repülőgép, illetve a működtetéséhez szükséges fedélzeti és földi összetevők prototípusának megalkotása. A feladat összetettsége miatt a munka két főbb folyamatra van osztva, melyek párhuzamosan futnak (2. ábra).

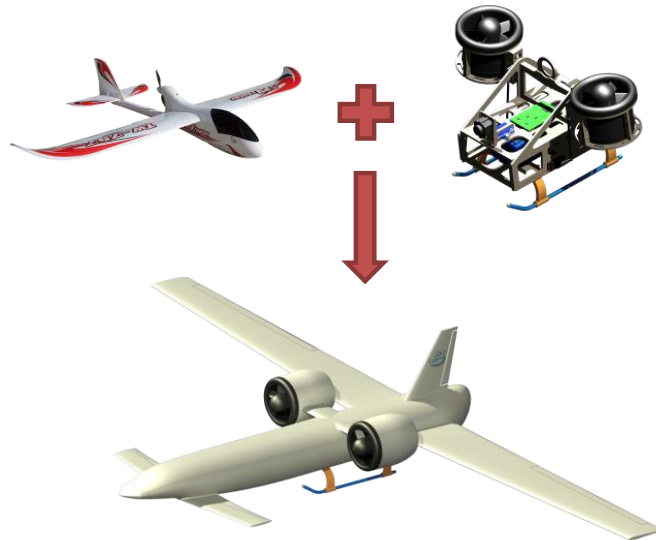
Egyrészt folyik a fedélzeti és földi összetevők fejlesztése egy hagyományosan fel- és leszálló, a kereskedelmi forgalomban készen kapható sárkányszerkezet segítségével. Ez a

¹ UAV - Unmanned Aerial Vehicle

gyakorlatban azt jelenti, hogy egy erre alkalmas repülőgépmodellt felszerelünk egy saját fejlesztésű, az automatikus repülést lehetővé tevő fedélzeti elektronikával, továbbá elkészítjük a működtetéséhez szükséges egyéb komponenseket (pl. földi állomás).

A fejlesztés másik iránya egy helyből felszállásra képes, egyedi tervezésű sárkányszerkezettel rendelkező, de még szárnyak nélküli repülőeszköz megalkotása. Ezen a fedélzeti elektronika továbbfejleszthető, illetve a helyből felszállás (függeszkedés) irányítástechnikai jellemzői vizsgálhatók.

Az utolsó lépés a két fejlesztési irány végén előállt eredmények (hardver, szoftver) egyesítése és egy végleges sárkányszerkezetbe integrálása, illetve az új rendszer tesztelése, hangolása.



2. ábra. Helyből felszálló pilóta nélküli repülőgép fejlesztési folyamata

Az előbbiekből következően a földi állomásnak képesnek kell lennie többféle, akár jelentősen eltérő repülőeszköz működtetésére és az ezekkel kapcsolatos fejlesztési feladatok támogatására.

FÖLDI ÁLLOMÁS TULAJDONSÁGAI, FELADATAI

A földi állomásnak számos feladatot kell ellátnia. Ezek jelen esetben két fő kategóriába oszthatók. Egyrészt képesnek kell lennie az UAV üzemeltetésére, másrészt pedig lehetőség szerint minél jobban támogatnia a kell a fejlesztési munkákat. Az üzemeltetéssel kapcsolatos fontosabb feladatok:

- Kommunikáció (telemetria, irányítás, hasznos teher)
- Adatok megjelenítése, vizualizálása
- Felhasználói, kezelői beavatkozások kezelése
- Hasznos teher működtetése
- Küldetéstervezés, útvonaltervezés és követés

Kommunikáció – a megfelelő hardverelemek (pl. rádió modem) felhasználásával kapcsolatot tart a fedélzeti rendszerekkel, akár több repülőeszkőzzel egyidejűleg. A kapcsolat kétirányú, a földi állomáshoz érkeznek a telemetriás adatok (fontosabb repülési adatok, működést leíró állapot információk), illetve a hasznos teherről származó adatok (pl. kép, hang). A repülőgép felé haladnak az irányítással kapcsolatos parancsok (pl. útvonal módosítás, kézi vezérlés), illetve a hasznos teher működtetésével kapcsolatos parancsok (pl. fedélzeti kamera beállításának módosítása).

Vizualizáció – a pilóta nélküli repülőgépről érkező adatokat könnyen áttekinthető formában megjeleníti. A megjelenítendő adatok lehetnek telemetriás és a hasznos teherrel származó adatok egyaránt. A megjelenítéshez felhasználhat helyi vagy távoli adatbázisokat (pl. térképek, időjárás adatok)

Kezelői beavatkozások – jelen esetben elvárás az UAV minél szélesebb körű automatikus működése, de ennek ellenére elkerülhetetlen, hogy az operator is be tudjon avatkozni a küldetésbe. A beavatkozás történhet magas szinten az automatikus működést nem befolyásolva (pl. útvonal módosítása) vagy történhet egészen alacsony szinten (pl. irányítás átvétele kézi üzemmódba).

Hasznos teher működtetése – amennyiben szükséges, a hasznos teher működtetését is célszerűen a földi állomás látja el. Ez a hasznos teher jellegétől függően lehet egészen egyszerű, de lehet bonyolult, összetett vezérlést kívánó feladat.

Útvonaltervezés – a földi állomásnak alkalmasnak kell lennie a küldetés megtervezésére, ami a tervezett repülési útvonal megtervezésével (térképes támogatással) és az egyes helyeken végrehajtandó feladatok megadásával történik. Természetesen már tervezéskor érdemes számolni az UAV hatótávolságával, domborzati viszonyokkal, időjárással, vészhelyzetekkel (pl. vészleszállóhely). A küldetést nyomon is kell követnie a már előzőekben említett telemetriás, vizualizációs modul segítségével.

Mivel egy kísérleti rendszerről van szó, azért nagyon fontos feladata a földi állomásnak a fejlesztési, tesztelési folyamat támogatása. Az ezzel kapcsolatos elvárások:

Rendszer paraméterek változtatása

- Rendszer monitorozás
- Szimulációs támogatás
- Rugalmasság, bővíthetőség

Rendszer paraméterek változtatása – lehetőséget kell biztosítani bizonyos fedélzeti rendszerparaméterek, szabályzási együtthatók változtatására, hangolására akár repülés közben is. Illetve ezek tárolására, gyors visszaállítására hibás beállítás esetén.

Rendszer monitorozás – feladata hasonló a már előzőekben említett vizualizációs funkcióhoz, azonban itt olyan belső paraméterek megjelenítéséről van szó, amelyek a repülőgép üzemeltetésekor nem bírnak különösebb jelentőséggel, de a fejlesztés, hibakeresés során fontos információkkal szolgálhatnak.

Szimulációs támogatás – a földi állomás felelős HIL²/SIL³ szimulációs üzemmódban a szimulációs szoftver és az UAV közötti adatáramlásért. Ez a megoldás egyszerűbbé teszi a fedélzeti szoftver felépítését, hiszen az mindig csak a földi állomással kommunikál, a különböző szimulációs programokhoz tartozó egyedi illesztési módok a földi állomás szoftverében valósulnak meg.

Rugalmasság, bővíthetőség – a fejlesztési munka során sokszor szükség van olyan funkciókra is, amelyekre az üzemeltetés során nincs, vagy nem feltétlenül van szükség és ezek a funkciók a fejlesztési munka során folyamatosan változhatnak. Ezért fontos, hogy új funkciók (illetve a már létezők) módosítása gyorsan és könnyen elvégezhető legyen az egész rendszert érintő változások nélkül.

Több földi állomás elérhető nyílt forráskódban is. A teljesség igénye nélkül, néhány elterjedtebb, nyílt forráskódú rendszer: ArduPilot Mega Mission Planner [1], Paparazzi Ground Station [2], QGroundControl [3], HK Ground Control Station [4]. Kézenfekvőnek tűnik ezek közül valamelyik használata, de egyik sem annyira rugalmas és bővíthető, mint ami a kívánalmak között szerepel. Ezért célszerű egy saját tervezésű és fejlesztésű földi állomást készíteni. Ehhez első lépésben a felépítését kell megtervezni.

² HIL – Hardware In the Loop

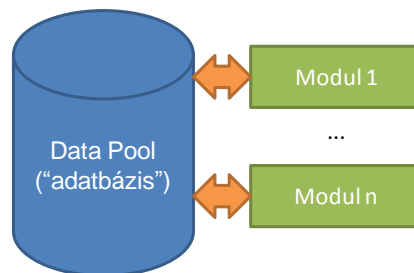
³ SIL – Software In the Loop

A FÖLDI ÁLLOMÁS FELÉPÍTÉSE

A földi állomás természetesen egyaránt tartalmaz hardver és szoftver elemeket is. A hardver elemek egyrészt egy IBM PC kompatibilis számítógépet tartalmaznak, illetve a hozzá csatlakoztatott egyéb kiegészítő elemeket. Ilyenek például a különböző kommunikációs interfészek, rádiós modemek vagy rádióvevők, antennakövető rendszerek, irány és helyzet meghatározó elemek, illetve egyéb kiegészítő egységek. A részletesebb ismertetésük – hely hiányában – nem része e cikknek, ezért a továbbiakban csak a földi állomás szoftverének felépítésével foglalkozunk.

A szoftver a rugalmas felépítés érdekében moduláris felépítésű. A modulokat egy keretrendszer fogja össze. A keretrendszer feladatai a következők:

- Modulok betöltése és futtatása. Minden modul külön DLL⁴-be kerül lefordításra, így futásidőben is szabadon be- és kivehetők a keretrendszerből.
- Képernyő felosztása a modulok között. A képernyőn minden modul számára saját terület jelölhető ki, az egyes elrendezések (layout) elmenthetők és tetszőleges időpontban visszatölthetők.
- Egységes konfigurációs felületet nyújtása a modulok részére, konfigurációk mentése, visszatöltése.
- Modulok közötti kommunikáció. A modulok közötti kommunikáció egy közös közös valós idejű adatbázison (data pool) keresztül történik. Ebben bármelyik modul helyezhet el adatokat (azok leírásával együtt), aktualizálhatja és szabadon elérheti őket.



3. ábra. Modulok közötti kommunikáció

A moduláris felépítéssel, illetve a modulok közötti kommunikáció előbb említett kialakításával elérhető, hogy egy modul megváltoztatása vagy egy új modul hozzáadása ne legyen hatással a teljes rendszerre. Másrészt előnye ennek a megoldásnak, hogy minden belső adat rendelkezésre áll egy helyen, így ez könnyen megjeleníthető, tárolható, elemezhető például diagnosztikai céllal.

A teljes földi állomás a keretrendszeren kívül számos modulból állhat. Ezek közül néhány fontosabb modul rövid ismertetésére kerül sor a következőkben.

KOMMUNIKÁCIÓS MODUL

A kommunikációs modul feladata a kétirányú adatkommunikációs kapcsolat fenntartása az UAV-al, lehetőség szerint repülés közben is. Ehhez természetesen valamilyen vezeték nélküli (pl. rádiós) adatátviteli egységre (modemre) van szükség az ehhez kapcsolódó antennákra (esetleg követő rendszerrel), illetve a megfelelő kommunikációs protokollokra. Ez utóbbi kivételével mindent a földi állomás hardvere tartalmaz, így ezek ismertetésétől most eltekintünk.

⁴ DLL – Dynamic Link Library

A kommunikációs protokoll alsóbb rétegei (a média réteg az OSI értelmezés szerint) szintén a hardver (modem) szinten kerülnek megvalósításra. A kommunikációs modulban csak a felsőbb (csomóponti) rétegek kerülnek implementálásra.

A kommunikáció csomagokban történik, a csomagok adattartalmát pedig egy XML⁵ fájl segítségével lehet meghatározni. Az XML fájlból egy megfelelő segédprogrammal egy C nyelvű az adott adatstruktúrát leíró deklarációkat tartalmazó fájl is előállítható, így a kommunikációs protokoll adattartalma a nélkül változtatható, hogy ez jelentős programozási munkával járna, illetve mivel a földi állomás kommunikációs moduljában ezek a konfigurációs fájlok cserélhetők, így könnyen állítható át a rendszer az egyik kommunikációs protokollról a másikra.

VIRTUÁLIS MŰSZERFAL MODUL

A virtuális műszerfal felelős a legfontosabb telemetriás adatok könnyen áttekinthető, értelmezhető megjelenítésért. Ehhez a hagyományos (és a repülésben elterjedt) műszerekhez hasonló megjelenítés szükséges, vagyis a már megszokott műszereket kell virtuálisan (a számítógép képernyőjén) megjeleníteni.

A rugalmasság, illetve a fejlesztés megkönnyítése érdekében nem érdemes minden műszerhez tartozó programot egyedileg elkészíteni. Sokkal egyszerűbb kialakítani egy olyan leíró nyelvet, aminek segítségével a műszerek megjelenése és működése közvetlenül leírható különösebb programozói tudás nélkül. Mivel a XML igen elterjedt különböző adatstruktúrák leírására célszerű egy XML alapú leírónyelvet létrehozni, amelynek segítségével szinte tetszőleges virtuális műszer létrehozható. A következő ábrán (4. ábra) egy sebességmérő műszerhez tartozó XML kód látható.

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <dashboard>
3   <!-- ** Variables ** -->
4   <variables>
5     <variable Name="Airspeed" Min="0" Max="80"/>
6   </variables>
7
8   <!-- ** Mappers ** -->
9   <mappers>
10    <linear Name="Airspeed_Angle" Variable="Airspeed" Min="-160" Max="160"/>
11  </mappers>
12
13  <!-- ** Transformation ** -->
14  <transformations>
15    <!-- Airspeed transformation -->
16    <transformation Name="Airspeed_Transformation">
17      <rotate Angle="Airspeed_Angle" OriginLeft="0" OriginTop="-11"/>
18    </transformation>
19  </transformations>
20
21  <!-- ** Instruments ** -->
22  <instruments>
23    <!-- Airspeed Indicator -->
24    <instrument Left="5" Top="5">
25      <bitmap Source="airspeed_background.png"/>
26      <line Transformation="Airspeed_Transformation" Left="89" Top="100" Width="0" Height="-80" PenColor="white" PenWidth="3"/>
27    </instrument>
28  </instruments>
29 </dashboard>
```

4. ábra. Sebességmérő műszer XML kódja

Terjedelmi okokból kifolyólag, a részletes ismertetést mellőzve, látható, hogy a kódban néhány sor megírásával egy működő és fontosabb paramétereit tekintve egyszerűen változtatható műszer hozható létre. Természetesen nem csak egy, hanem több műszer is definiálható, így létrehozható egy teljes virtuális műszerfal (5. ábra).

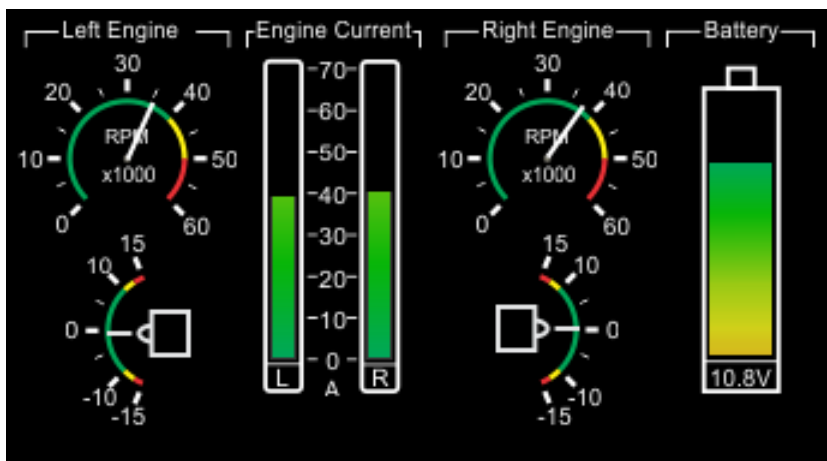
⁵ XML – Extensible Markup Language



5. ábra. Virtuális műszerfal

Ezen a virtuális műszerfalon a 'szokásos' műszerek láthatók, (lég)sebességmérő, műhorizont, magasságmérő, elfordulás- és dőlésmérő, iránytű és függőleges sebességmérő.

Lehetőség van természetesen a szokásos kinézetű műszerek mellett modernebb, 'glass cockpit' jellegű műszerek definiálására is, ahogy ez a következő ábrán (6. ábra) látható.



6. ábra. Motor ellenőrző műszerek

Ezek a műszerek például a cikkben szereplő helyből felszálló repülőgép motor ellenőrző műszerei lehetnek. Látható a fordulatszám, hajtómű elfordítási szög, felvett áramok és az akkumulátor töltöttségét (kapocsfeszültségét) jelző műszer.

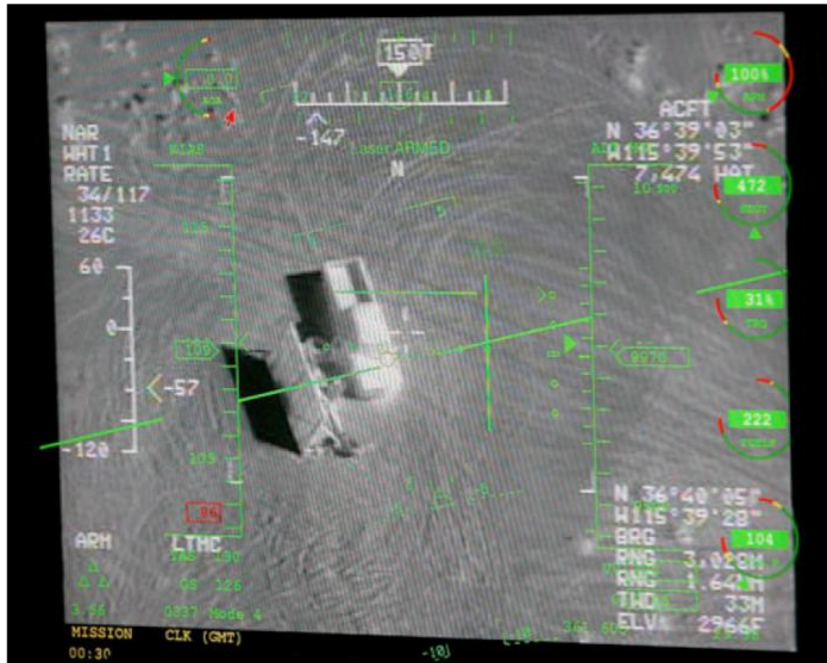
VIDEO MODUL

A video modul feladata a fedélzeti kamera képének fogadása, megjelenítése, rögzítése. A megjelenítéshez célszerű a képen elhelyezni a legfontosabb telemetriás adatokat, hasonlóan a repülőgépek HUD⁶-jához (6. ábra), így az amúgy is korlátozott méretű képernyő hatékonyabban használható ki. Az itt megjelenítendő adatokat a virtuális műszerfalhoz hasonlóan egy XML fájl segítségével lehet leírni.

Természetesen szükséges lehet a video rögzítése a későbbi visszajátszás érdekében. A rögzített videóba a HUD képe nem kerül bele, mert a HUD megjelenítéséhez szükséges telemetriás adatok egyébként is rendelkezésre állnak, illetve később a fedélzeti adatrögzítőből

⁶ HUD – Head Up Display

is kinyerhetők. Azért, hogy a videojelfolyamot a telemetriás adatokkal szinkronban lehessen kezelni, a fedélzeti video továbbító rendszer az egyébként nem használt hangcsatorán FSK⁷ modulációval elhelyez egy időbélyeget, mely a videó jelfolyam részeként rögzítésre kerül. Így később bármikor újra felépíthető a HUD vagy a video mellett szinkronizáltan megtekinthetők a telemetriás adatok.



7. ábra. Fedélzeti video megjelenítése⁸

A 7. ábra egy lehetséges video megjelenítést mutat. Az ábrán látható a fedélzeti kamera képe és az arra ráhelyezett HUD szerű adatkijelzés.

TÉRKÉP, ÚTVONALTERVEZŐ MODUL

Nagyon fontos eleme a teljes rendszernek a GIS alapokon nyugvó útvonaltervező és követő modul.

Minden küldetés első lépése a tervezés. Definiálni kell az egyes célterületeket, az ott végrehajtandó feladatokat és meg kell tervezni a célterületek közötti útvonalat is. Eközben természetesen figyelemmel kell lenni a földfelszín magasságára (UAV repülési magassága), az útvonal hosszára (UAV hatótávolsága), számolni kell a le és felszállóhelyekkel (vészhelyzet esetére is), esetleg az időjárásra és alternatív útvonalakra is. Természetesen az így megtervezett útvonalak elmenthetők és később újra felhasználhatók, módosíthatók. Szintén a modul feladata a küldetés nyomonkövetése, a valós idejű vagy tárolt telemetriás adatok alapján az UAV megjelenítése térképeken vagy akár 3D-s virtuális térben.

DIAGNOSZTIKAI MODUL

Az UAV fejlesztése (de akár a karbantartása esetén) is hasznos segítséget nyújthat egy olyan modul, ami a fedélzeti repülésvezérlő elektronika bizonyos belső változónak a pillanatnyi értékét vagy ennek bizonyos (pl. idő szerinti) függését ábrázolja. Ennek segítségével a rendszer belső működése is figyelemmel kísérhető, az esetleges hibák, meghibásodások könnyebben felderíthetők. A 8. ábra egy ilyen lehetséges megjelenítése mutat.

⁷ FSK – Frequency Shift Keying

⁸ <http://uihfes.files.wordpress.com/2010/03/hud.png>



8. ábra. Diagnosztikai modul⁹

Az ábrán egyaránt szerepelnek numerikus értékek, illetve grafikonon megjelenített paraméterek.

Azért, hogy ez a kijelzés is könnyen módosítható, változtatható legyen a megjelenítendő adatok, diagramok a már szokásos XML fájl segítségével definiálhatók.

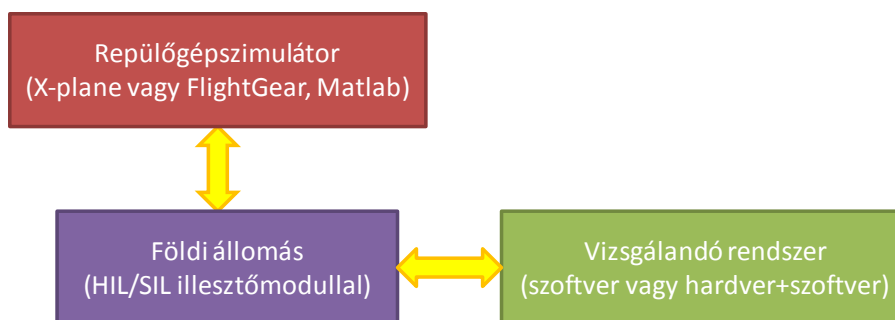
Eddig még nem került említésre, de az XML jellegű leírásnak van egy további előnye. Akár többféle megjelenítés is megtervezhető előre és ezek egyetlen mozdulattal (egy másik XML fájl betöltésével) cserélhetők, akár működés közben is.

HIL MODULOK

A HIL/SIL¹⁰ modulok feladata a földi állomás illesztése a különböző szimulációs szoftverekhez.

A HIL/SIL szimulációk lényege a teljes szoftver (SIL) vagy hardver és szoftver együttesen (HIL) rendszer (beleértve a fedélzeti szoftvereket is) minél nagyobb részének tesztelése, tényleges repülés nélkül. A repülőgép csak egy virtuális térben repül egy szimulációs szoftverben, viszont a szimuláció pontosan azokat a beavatkozó jeleket kapja, amit a tényleges repülőgép kormányserverei kapnának, illetve (a szimuláció pontosságától függően) a valóságos repülőgéppel azonos válaszokat ad a beavatkozó jelekre.

A szimuláció során használt adatfolyamot a következő ábra (9. ábra) mutatja.



9. ábra. HIL/SIL szimuláció adatfolyama

A szimulátor bár közvetlenül kommunikálhatna a fedélzeti rendszerekkel, de ez nem minden esetben valósítható meg egyszerűen a fedélzeti (beágyazott) rendszerek korlátozott erőforrásai miatt. Célszerűbb kiegészíteni a telemetria-vezérlést megvalósító protokollt, amely

⁹ http://wiki.ardupilot-mega.googlecode.com/git/images/ArduPilotMegaImages/QGC_Engineer.png

¹⁰ HIL – Hardware In the Loop, SIL – Software In the Loop

egyébként is létezik a földi állomás és a repülőgép között. Így a különböző szimulációs programokhoz történő illesztés a földi állomásban történik, ahol jóval nagyobb erőforrások állnak rendelkezésre.

ÖSSZEFOGLALÁS

A földi állomás szoftvere egy rendkívül összetett rendszer, számos kívánalomnak kell megfelelnie, mint például a könnyű kezelhetőség, rugalmasság, bővíthetőség, könnyű karbantarthatóság. Ezen kívánalmak mindegyike csak úgy teljesíthető, ha az implementálást gondos tervezési munka előzi meg. A teljes rendszer modulokra bontásával, az egyes modulok minél általánosabb felépítésével és XML fájlok által történő testreszabásával, illetve a modulok közötti valós idejű, adatbázis alapú kommunikáció segítségével olyan rendszer alakítható ki, amely hosszú távon szolgálhat szinte tetszőleges pilóta nélküli repülőgép földi állomásaként.

Felhasznált irodalom

- [1] ArduPilot Mega Mission Planner (Letöltve: 2013. január 12.)
<http://www.ardupilot.co.uk/>
- [2] Paparazzi Ground Control Station (Letöltve: 2013. január 10.)
<http://paparazzi.enac.fr/wiki/GCS>
- [3] QGroundControl (Letöltve: 2013. január 10.) <http://qgroundcontrol.org/>
- [4] HK Ground Control Station (Letöltve: 2013. január 10.)
<http://code.google.com/p/happykillmore-gcs/>