



Dr. Gáti Balázs¹

ROBOTREPÜLŐGÉP A REPÜLŐMÉRNÖK KÉPZÉSBN²

Az elektronika rohamos fejlődésével sorra jelennek meg a civil célokra kifejlesztett robotrepülőgépek, melyek a vészhelyzet management, az energiaipar, a mezőgazdaság és a környezetvédelem területén segítik a munkát. Azonban a lelkes civil fejlesztői közösségek munkájának köszönhetően már oktatási célokra is elérhető hardverek és szoftverek születtek az utóbbi években. Tanszékünk az ebben rejlő lehetőségeket aknáztta ki a repülőmérnök hallgatók ismereteinek bővítésének érdekében, mivel remek lehetőséget kínálnak aerodinamikai, repülésmechanikai, valamint szerkezeti vizsgálatok elvégzésére, sőt komplex repülőgép tervezési gyakorlat tárgyát is jelenthetik.

UNMANNED AERIAL SYSTEMS (UAS) IN THE AERONAUTICAL ENGINEERING EDUCATION

Unmanned Aerial Systems (UAS) have been developed for more and more civil purposes. These systems can provide improved services for emergency management, energy industry, agriculture, environment monitoring. Our department started several projects to introduce this technology for students and involve them into development of new technologies. Our fixed wing UAV is fitted with the Paparazzi autopilot, which was developed by the Ecole Nationale de l'Aviation Civile, an aviation-oriented university in France. The autopilot software and hardware is open source and highly flexible, thus ideal for educational purposes.

1. BEVEZETŐ

A repüléstudomány egyik legújabb vívmányai a robotrepülőgépek. Angol nyelven az Unmanned Aerial Vehicle (UAV) néven kerültek be a köztudatba, majd később az Unmanned Aerial System (UAS) elnevezést kezdte alkalmazni a szakirodalom jelezvén, hogy a földi munkaállomás is szerves részét képezi a légi eszköznek. A szakmai fórumokon jelenleg a Remotely Piloted Aerial System (RCAS) kifejezésre igyekeznek áttérni annak hangsúlyozása érdekében, hogy autonóm üzemmód esetén is folyamatos emberi felügyelet alatt működnek ezek az eszközök. A magyar sajtóban gyakran olvasható a drón kifejezés is, amely a hidegháború során kifejlesztett katonai célú autonóm repülő eszközök (drone) nevéből származik.

2. A RENDSZER JELLEMZŐI

A Budapesti Műszaki Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszéke 2005 óta dolgozik távirányítású és robotrepülőgépekkel. Először fedélzeti elektronika nélkül, csupán egy drótnélküli kamera, egy laptop és egy modellező távirányító állt rendelkezésünkre, de ezzel is vizsgáltunk aeroelasztikus

¹ egyetemi docens, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, gatib@rht.bme.hu

² Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

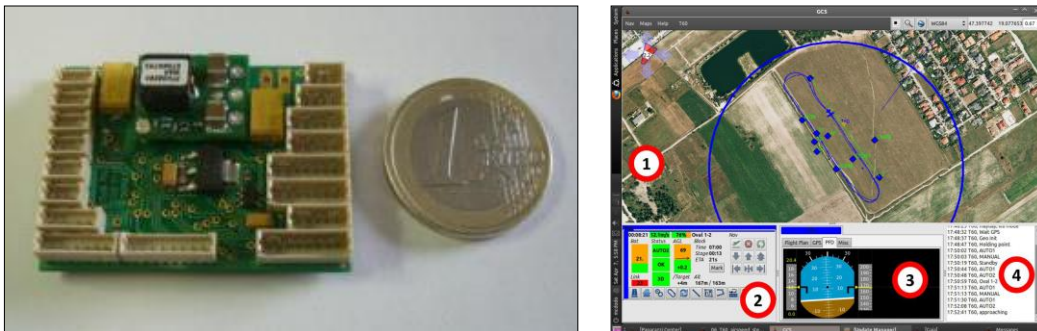
jelenségeket, illetve képi információk alapján működő kéttengelyes stabilizáló algoritmust. Mára a tanszék gépparkja kibővült, melyek közül párat az 1. ábra mutat be.



1. ábra A flotta három repülőgépe

Autonóm repülésre alkalmas legkisebb gépünk a Multiplex Easyglider, melynek felszálló tömege 0,8 kg, fesztávolsága pedig 1,8 m. A legnagyobb, autonóm módon repülő eszközünk pedig a 4,5 kg felszálló tömegű és 1,9 m fesztávolságú Trainer 60-as. Rendelkezőnk robbanómotoros repülőgéppel is, de egyszerűbb üzemeltetése miatt az elektromos meghajtást részesítjük előnyben.

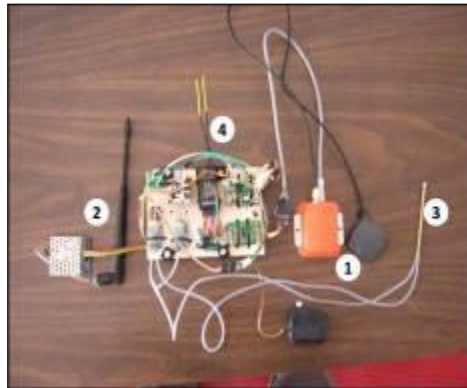
A repülőgépeket a Paparazzi projekt által kifejlesztett egyik robotpilóta irányítja. Ezt a közösségi projektet a francia Ecole Nationale de l'Aviation Civile és a holland Delft University fogja össze. A választásunk a TWOG nevű modulra esett kis mérete és külső GPS vevő fogadására alkalmas szabad soros portja miatt. A Paparazzi projekt nemcsak elektronikát, hanem teljeskörű szoftveres környezetet is kifejlesztett, beleértve a földi felügyelő állomás szoftverét, az útvonaltervezést, a szoftveres szimulációt, a valós idejű, grafikus telemetria megjelenítést és a repülés alatt történő paraméterhangolás lehetőségét is. A nyílt forrású szoftver és hardver fejlesztés lehetővé teszi további saját hardver és szoftvermodulok illesztését is a meglévő rendszerhez.



2. ábra A Paparazzi projekt TWOG robotpilótája és földi felügyelő szoftvere

A 3. ábra mutatja, hogy a robotpilóta modult milyen kiegészítőkkal használjuk. A repülőgép helyzetét és helyét az Xsens MTi-G típusú inerciális egység (1) határozza meg a gyorsulásérzékelő, a giroszkóp, a mágneses térerősség érzékelő és a GPS vevő jelei alapján, melyeket egy kiterjesztett Kálmán-szűrő algoritmus dolgoz fel. A torló- és statikus nyomást egy Pitot-cső (3) segítségével EagleTree modulok továbbítják a robotpilótának. Ezen kívül a motorvezérlő modul közelében elhelyeztünk egy Sparkfun motoráram- és akkufeszültség mérő érzékelőt is. Az Aerocomm AC4868

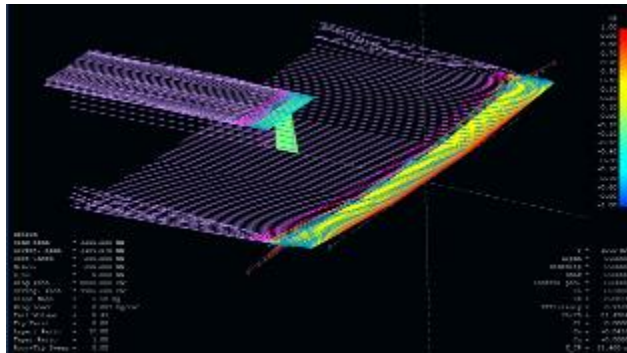
radiómodem (2) segítségével kétirányú digitális adatkapcsolat is megvalósul a földi állomás és a légi eszköz között.



3. ábra A kiépített elektronikai rendszer

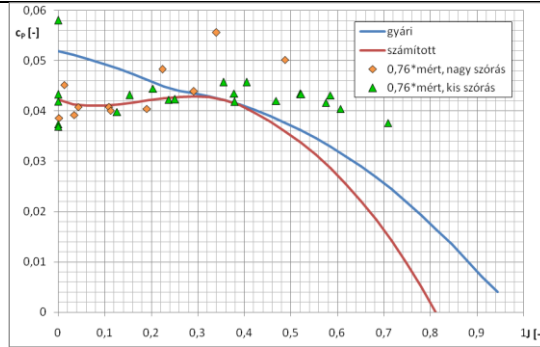
3. TELJESÍTMÉNYSZÁMÍTÁS

A robotrepülőgépet kezdetben arra használtuk fel az oktatásban, hogy demonstráljuk az aerodinamika és a repülésmechanika tárgyakban tanított módszerek alkalmazhatóságát. Néhány hallgató elvégezte az XFLR5 szoftver segítségével a robot aerodinamikai elemzését (4. ábra), és kiszámította ez alapján a szükséges vonóerőt különböző repülési sebességeken.



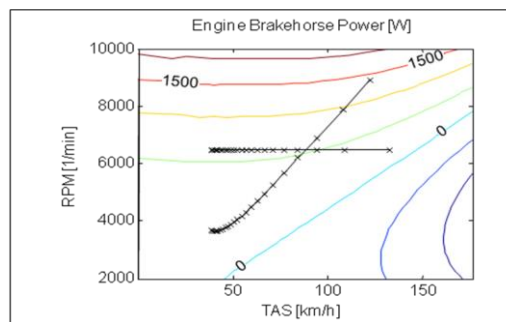
4. ábra Aerodinamikai analízis

Egy másik hallgatónk egy légcsvár elemző szoftvert állított össze a légcsvár karakterisztika számítására. [1] A program elméleti alapját a módosított impulzus elmélet, illetve a lapelem elmélet Schmitz-féle megközelítése adja, és az alkalmazott légcsvár 3D szkennelése során kapott, majd korrigált geometriából indul ki.



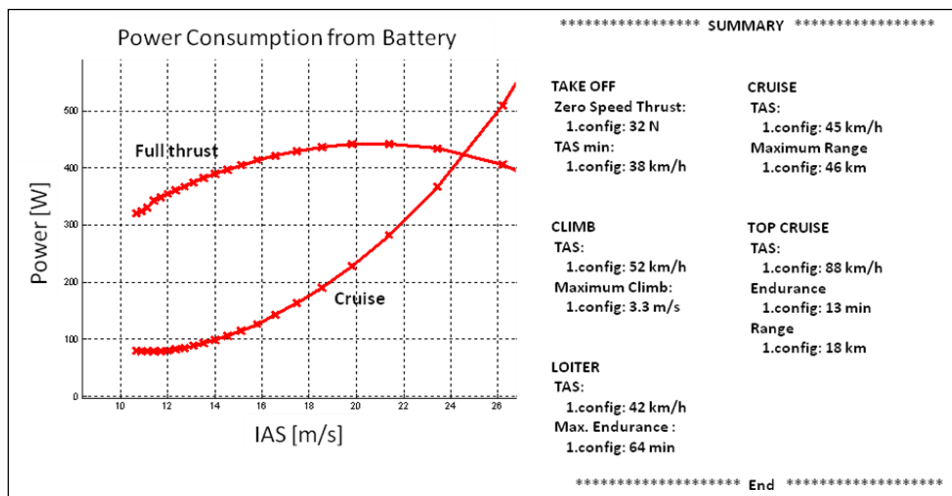
5. ábra A mért és számított légszár karakterisztika [1]

Következő lépésként eljárást dolgoztunk ki a légszár munkapontjának számításához, ahol a légellenállás megegyezik a vonóerővel és a motornyomaték megegyezik a légszár nyomatékszükségletével.



6. ábra A légszár munkaponti fordulatszáma a repülési sebesség függvényében

Ennek eredményeképpen a Penauld diagramban a rendelkezésre álló teljesítmény görbe már tükrözi a merev légszavarokra jellemző, nem elhanyagolható hatásfokváltozást is, és lehetővé tesz reális eredményt adó, automatikus teljesítményszámítást (max. sebesség, max. emelkedés, max. időtartam, max. hatótávolság) is. A program kimenete a 7. ábrán látható.

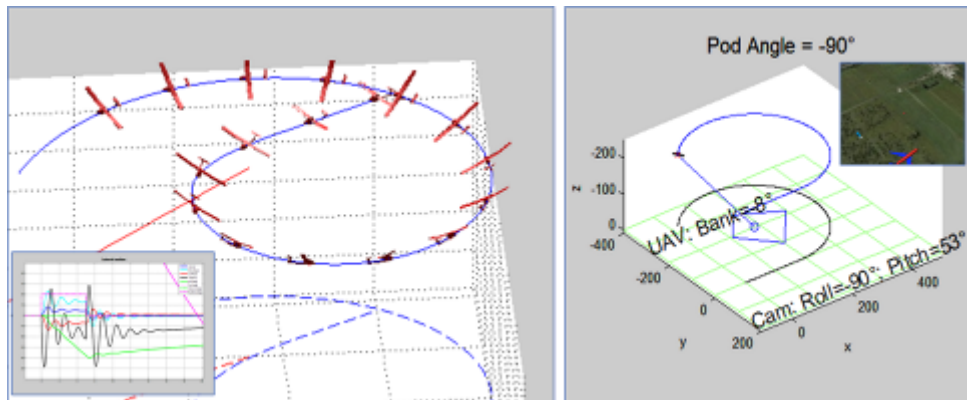


7. ábra A Penauld diagram és elemzésének eredménye

4. HARDWARE-IN-THE-LOOP SZIMULÁCIÓ

A teljesítményszámítás mellett megalkottuk a robotrepülőgép szétválasztott, lineáris modelljét kiterjesztett állapotterés formában a [2] alapján. Az a modell alkotta egy kiegészítő trimmszámítással az egyik hazai tulajdonú robotrepülőgép fejlesztő vállalkozás, a BHE Electronics Ltd. számára kifejlesztett hardware-in-the-loop szimuláció alapját. Ez a szimuláció egy olyan PC-n fut, amely össze van kapcsolva a robotpilóta egységgel, és a robotpilóta számára kidolgozza azokat a jeleket, amelyeket az érzékelői mérnének valós repülésben. A szimuláció bemenő kormányjeleit pedig a robotpilóta állítja elő. Ezzel lehetőség nyílt gyorsan és kockázatmentesen tesztelni a robotpilótát, illetve a földi állomást abban a formában, ahogy legyártásra és felprogramozásra kerültek.

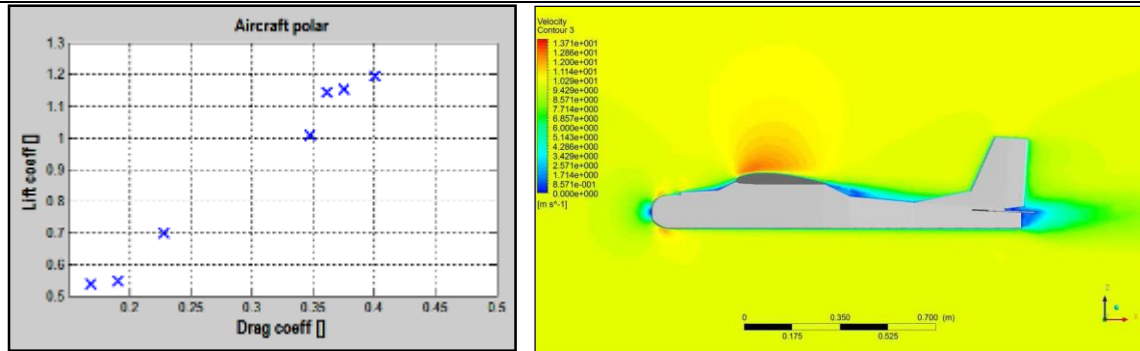
Ezt az ipari fejlesztést egy küldetés szimulátorral is támogattuk, amely különböző térképezési, felderítési és célkövetési stratégiák elemzésére alkalmas azáltal, hogy különböző szituációkban futtatva kiszámítja a kameramozgató mechanizmussal szemben támasztott követelményeket (kitérési szögek, szögsebesség, stabilitási követelmények), illetve a repülőgép teljesítményével (sebesség, fordulósugár, repülési idő) szemben támasztott követelményeket. Az analízis eredményeképpen valós idejű videókép is készül az előre definiált 3D virtuális valóságban zajló légieszköz- és kameramozgások alapján. Így ellenőrizni lehet, hogy a kiválasztott stratégia összhangban van-e az operátor emberi tényezők által korlátozott képességeivel.



8. ábra HITL szimuláció és küldetés szimulátor

5. GYAKORLATI ALKALMAZÁSOK

Néhány hallgatónk a robotrepülőgép gyakorlati alkalmazásainak demonstrálását tűzte ki célul. A Légi mérések tárgy hallgatói az elméleti számításokkal kapott Penauld diagram ellenőrzését végezték el repülési mérésekkel. A repülőgép felületi terhelését 90 g/dm^2 -re választottuk, hogy csökkentsük a szállókésekkel szembeni érzékenységet, de a fel- és leszállás még ne okozzon problémát előkészítetlen terep esetén sem. Ezzel nyugodt időjárás mellett megfelelő szórású méréseket sikerült végeznünk 25 perces tesztrepülések során. A teljesítménymérés eredményei a robotrepülőgép numerikus áramlástani elemzését is támogatták, mely egyik hallgatónk diplomatervének [3] témája volt.



9. ábra A mért poláris és a CFD számítás eredménye [3]

Egyik hallgatók diplomamunkájaként [4] egy általános repülésben (general aviation) alkalmazható, a repülőtér megközelítését támogató eszköz által felvetett kulcskérdésekre keresett válaszokat. Ennek keretén belül a hallgató megvizsgálta néhány általánosan elterjedt kézi GPS vevő pontosságát dinamikus viszonyok között is, melyre a robotrepülőgépet és a fedélzetén alkalmazott nagy pontosságú Xsens MTi-G navigációs rendszert használta fel.

A robotrepülőgép alkalmas kompakt fényképezőgép hordozására is. Kifejlesztettünk egy kis interfész modult a kamera és a robotpilóta közé, továbbá implementáltunk egy olyan navigációs algoritmust, amely elkészíti a repülési tervet (útvonal, magasság, expozíciós pontok) egy előre kijelölt terület feltérképezéséhez előre definiált felbontással és képek közötti átfedéssel. Egy ilyen repülés alatt adott esetben több száz kép is készült. Kidolgoztunk egy eljárást a további feldolgozásra alkalmas képek kiszűrésére is a képekkel tárolt EXIF adatok és a repülés naplófájlya alapján. Az így kiszűrt képeket pedig a nyílt forráskódú PanoTools (<http://panotools.sourceforge.net>) programcsomag alkalmazásával dolgoztuk fel. A programcsomag lehetővé tette az automatikus ellenőrzőpont keresést, paraméter optimalizációt, újrajvetítést, és képfűzést. A 10. ábrán látható kép 59 fénykép alapján készült egy 35 hektáros területről 600 MegaPixeles méretben.

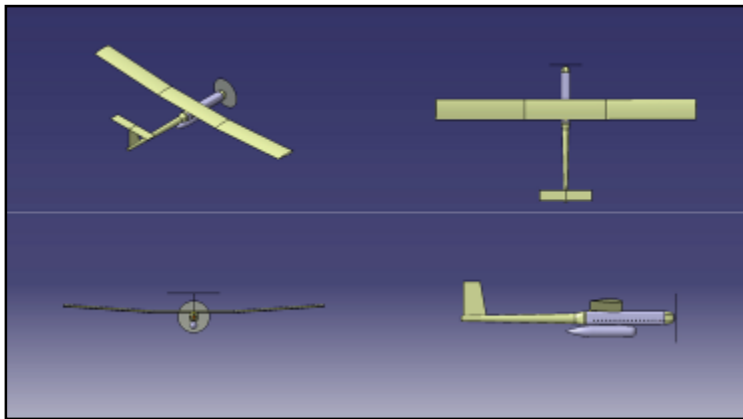


10. ábra Hálós útszerkezetű terület fotómozaikon

6. REPÜLŐGÉP TERVEZÉS

Az említett elméleti vizsgálatok és gyakorlati eredmények elegendő tapasztalatot jelentettek egy a céljainkra alkalmas sárkánnyal és hajtásrendszerrel szemben támasztott követelmények megfogalmazásához. A repülőgép tervezés tárgyát felvett hallgatók elemezték ezeket a követelményeket, és az oktatott módszerek segítségével kifejlesztettek egy többcélú robotrepülőgépet, amely optimálisan teljesíti a követelményeket. Az eredményül kapott gép jellemzői:

- max. felszállótömeg = 8,5 kg
- fesztáv = 3,0 m
- max. hasznos teher = 2,5 kg
- max. repülési idő = 1,5 óra



11. ábra Konténerhordozó robotrepülőgép háromnézeti rajza

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti példák mutatják, hogy a robotrepülőgépek nemcsak az ipar és a hadsereg számára jelentik a fejlődést, hanem a repülőmérnökök képzésének is szerves elemévé váltak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen köszönhetően áruknak, és üzemeltetésük egyszerűségének, továbbá nem utolsósorban annak a ténynek, hogy kézzel fogható voltak jelentősen motiválva a hallgatókat.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Erdődi, I.: Alacsony Reynolds-számú légszár üzemeltetési jellemzőinek analitikus és kísérleti vizsgálata, Diplomamunka, 2013, Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [2] Cook, M. V., Flight Dynamic Principles, ISBN 978-0-7506-6927-6, 2007, Elsevier
- [3] Kóti, D, TRAINER 60 típusú UAV numerikus áramlástani vizsgálata, TDK dolgozat, 2012, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [4] Gál, I., Alacsony költségű leszállás-támogató rendszer módszereinek, és egy javasolt rendszer megvalósíthatóságának vizsgálata kisrepülőgépek számára, Diplomamunka, 2012, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem