

**Molnár András**

[Molnar.Andras@nik.uni-obuda.hu](mailto:Molnar.Andras@nik.uni-obuda.hu)

**Stojcsics Dániel**

[Stojcsics.Daniel@nik.uni-obuda.hu](mailto:Stojcsics.Daniel@nik.uni-obuda.hu)

## KISMÉRETŰ ROBOTREPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETI ROBOTRENDSZEREINEK ROBOSZTUS KIALAKÍTÁSA

### *Absztrakt*

*A pilóta nélküli légi járművek fedélzeti robotrendszereinek kialakítása során rendkívüli jelentőséggel bír e rendszerek robosztus kialakítása. A robotrepülőgépek folyamatosan alkalmazkodnia kell az állandóan változó közeghez, amelyben repül, oly módon, hogy a repülés biztonságát eközben meg kell őriznie. Különböző parciális rendszerhibák esetén megengedhetetlen, hogy a repülőgép irányíthatatlanná váljon. Ennek érdekében a fedélzeti robotrendszereket úgy kell kialakítani, hogy azok a különböző szoftveres vagy hardveres (pl. szenzor-, program- vagy beavatkozó szerv hiba) meghibásodások esetén is képesek legyenek a feladatuk végrehajtására. A robotrepülőgép üzemeltetéséhez elengedhetetlen a különböző részeségek többszörözése. A biztonságos manuális vezérléshez szükség van kettő darab rádióvevőre, melyek közti átkapcsolást a fedélzeten meg kell oldani. A fejlesztési, tesztelési lépésekhez szükséges a robot illetve az ember vezette kormányfelületek homogén átkapcsolására, lehetőleg diszkrét áramköri elemekkel, kizárva a szoftveres hibákat. Célszerű egy olyan interfész panelt kialakítani, melyhez csatlakoznak a különböző beavatkozó szervek és a vezérlést biztosító rádióvevők illetve a robotvezérlő. A panelt ellátva több robotvezérlő interfésszel megoldható a robotrendszer robosztusságának kérdése. A vezérlők egyenként komplett rendszert alkotnak (teljes szenzorblokk, tápellátás, I/O rendszer és központi processzor), csupán egy darab is képes a repülőgép vezérlésére, viszont több darab együttes alkalmazásával hiba esetén a meghibásodott vezérlőtől át lehet adni az irányítást a hibátlan robot vezérlőnek.*

*The robust design of the onboard systems for small size unmanned aerial vehicles (UAVs) is quite important. The UAV has to adapt continuously to the changing environment and the local airflows while the safety of the flight must be kept. It is impermissible that the UAV became uncontrollable due to different partial system failures. For this purpose the onboard systems must be designed to resist any*

software and hardware failures (such as sensor, actuator or program error) and should be able to continue the mission task.

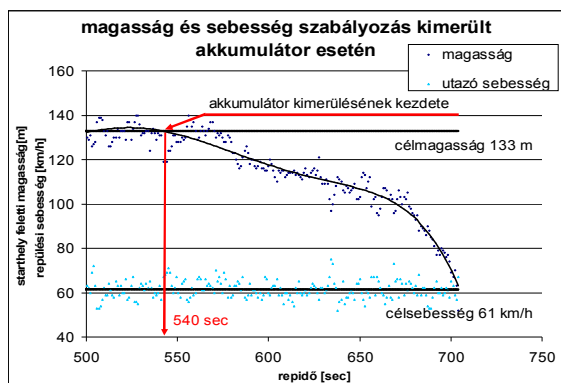
The multiplication of the different subsystems is necessary for the safety. Two different radio receivers with a diversity controller are needed for manual flight. A switching module is needed to change the control signal of the control surfaces between manual and autonomous mode in the development and testing phase of the UAV. An interface board should be designed which connects the different control surfaces, the radio receivers and the autopilot. The robust design of the system can be solved if this board has multiple autopilot interfaces. Each autopilot forms a complete system (full sensor array, power supply, I/O system and core processor). A single unit can control a UAV but using many units connected to the interface board, when a unit fails the UAV is still controllable.

**Kulcsszavak:** robot, UAV, vezérlés ~ robot, UAV, control

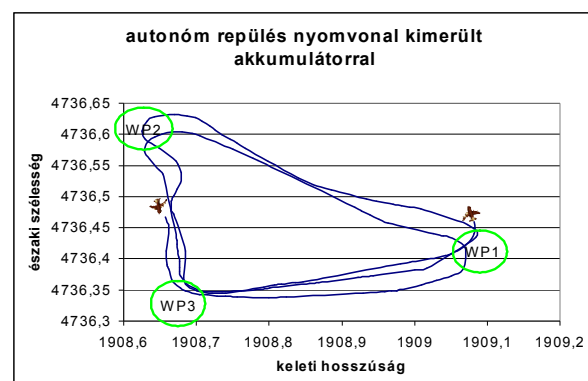
## ELŐZMÉNYEK

A robotegységgel számos kísérlet elvégzésére került sor. A mérések során vizsgálat tárgyát képezték a magasság- és a sebességszabályzó rendszerek viselkedései mellett az útvonalszabályzó rendszerek is, mivel azok hatása közvetve szintén kihat a sebességre, illetve a magasságra.

Az 1. és a 2. ábrák egy olyan kísérleti repülés adatait ábrázolják, amely során az



1. ábra, sebességtartás csökkenő motorteljesítmény esetén

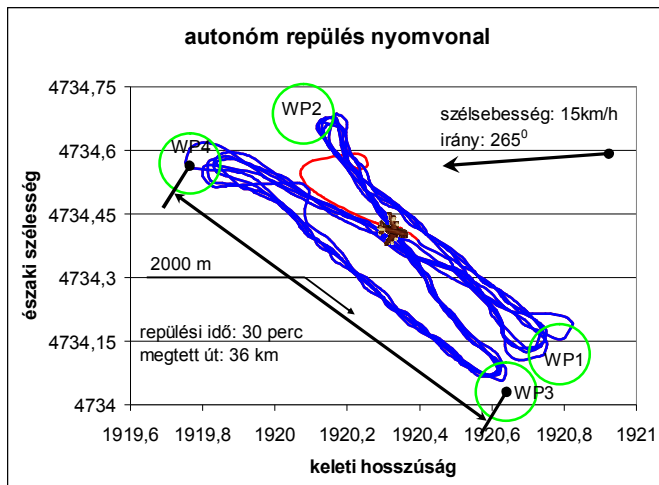


2. ábra, repülési nyomvonal csökkenő motorteljesítmény esetén

elektromos hajtású repülőgép akkumulátorai kimerültek. Mivel az alkalmazott Lithium-polimer akkumulátorok kisütési karakterisztikájának végső kisülési szakasza rövid, a vonóerőcsökkenés viszonylag hirtelen következik be, és azt követően a hajtómű hamar leáll. Mint az 1. ábrán látható a teljesítménycsökkenéstől a hajtóműleállításáig mindössze 160 másodperc telt el. Ezt követően a repülőgép motor nélküli siklással ért földet, amit a diagramok már nem ábrázolnak. A 2. ábrán a csökkenő hajtóműteljesítménnyel repülő UAV nyomvonala látható. Megfigyelhető, hogy a szabályzó mind a repülés irányát, mind annak sebességét kielégítően tartják, miközben az akkumulátorok kimerülése okán a magasságtartás már nem valósul meg [1].

A 3. ábra egy 30 perces autonóm repülés nyomvonalát szemlélteti. A teszt célja az volt, hogy alkalmas lehet-e a rendszer egy hosszú távú, autonóm repülésre. A repülés azonos magasságban négy fordulópont által meghatározott „nyolcas” nyomvonal mentén történt. A

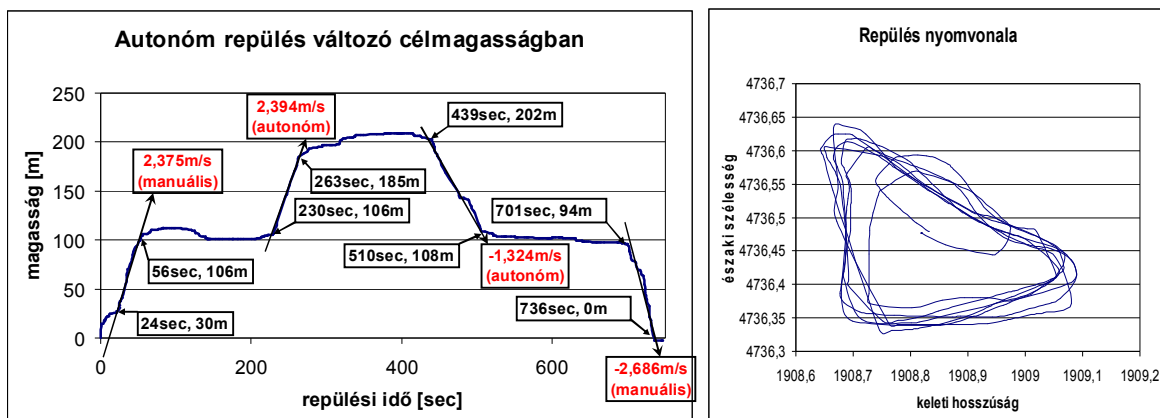
pályakialakítás során szempont volt, hogy legyenek jobb, illetve bal fordulói, valamint rendelkezzen oldal-, hát- és szembeszeles szakaszokkal. Mivel a kísérlet az egyensúlyi állapot tartós fennállását vizsgálta, a fel- és a leszállás távirányított módon történt.



3. ábra, 30 perces autonóm repülés nyomvonala

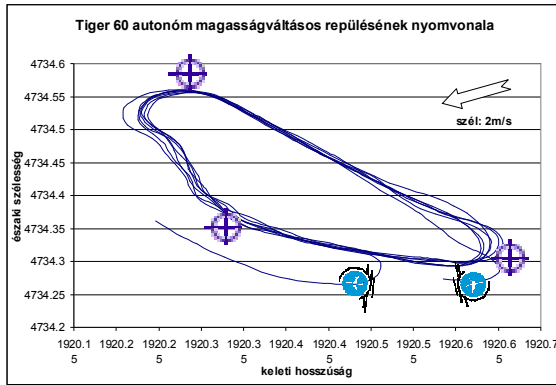
Az ábra tartalmazza az autonóm repülést megelőző és az azt követő manuális (távirányított) repülési szakaszokat is, így mód nyílik a robot és a pilóta repülési profiljának összehasonlítására is. Az ábrán látható emelkedési és merülési értékek jól szemléltetik, hogy a robot gyakorlatilag a pilóta által még biztonságosnak ítélt emelkedési és süllyedési manővereket hajtotta végre. Fontos megjegyezni, hogy az autonóm repülés során előálló függőleges sebességek nem lettek előre beprogramozva. Azok az előre meghatározott vízszintes repülési sebességből, valamint a repülőgép dinamikai tulajdonságaiból (le nem programozott!) adódtak.

Az iránytartás a kísérletek során nem mutatkozott kielégítőnek.



4. ábra, változó magasságú autonóm repülés magasságprofilja és nyomvonala.

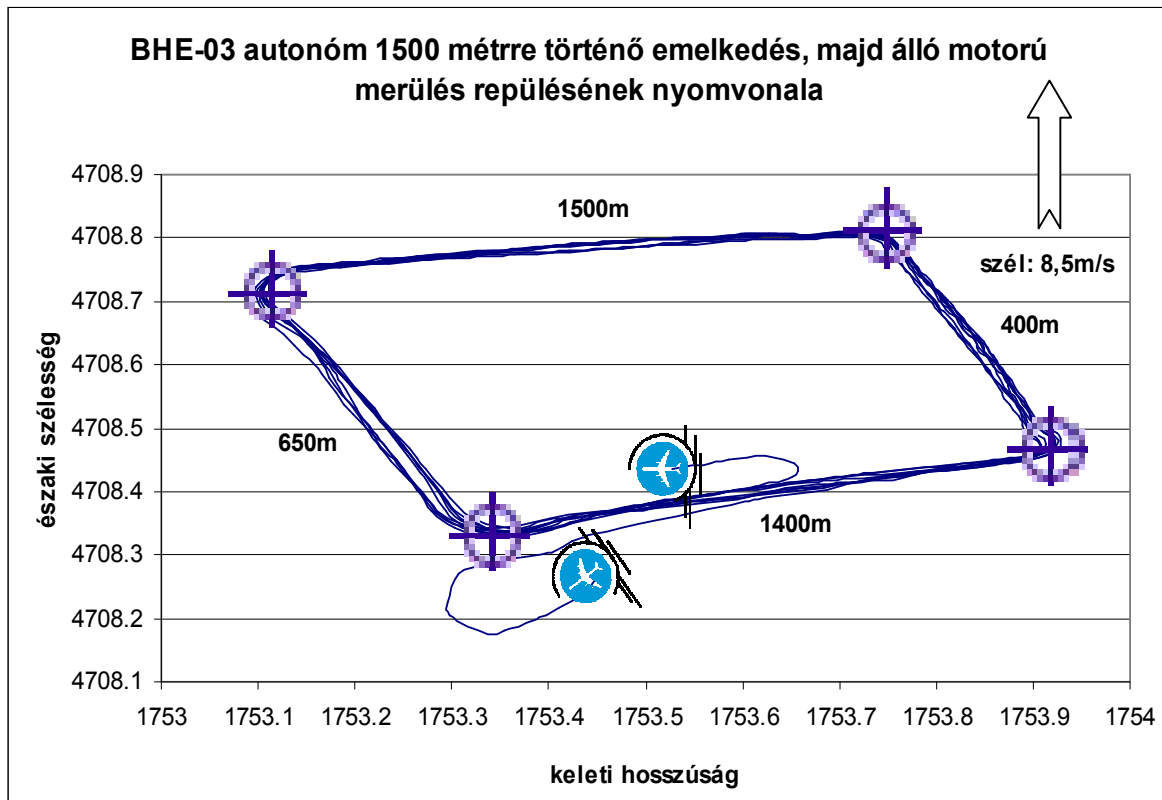
Szimulációkkal kimutattuk, hogy a hibát az irány szabályozó függvény egyik faktora okozta. A további kísérletek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a módosított útvonal szabályozó függvény hatását. Az első kísérleteket egy Tiger 60-as modellrepülőgépbe épített robotegységgel végeztük. A Tiger 60 egy 12 cm-es belsőégésű motorral ellátott, 1,8 m szárnyfesztávolságú, 4 kg felszálló tömegű modellrepülőgép.



5. ábra, Három fordulópontos autonóm repülés nyomvonala

méter startpont felett) repülés nyomvonalát szemlélteti. A repülőgép egy négy fordulóponttal kijelölt zárt pályán repült. A kísérlet célja az volt, hogy megvizsgálhassuk a tartós emelkedés során a repülőgép viselkedését, valamint mérési adatokat gyűjthessünk a hajtómű nélküli repülésről. A repülőgép akkumulátorának kimerüléséig a gép folyamatosan emelkedett, majd a vonóerő megszűnését követően siklórepüléssel folytatta a kijelölt pályán a repülést. A nyomvonal elemzése során a motoros és a siklórepülés között eltérés nem mutatkozott, ami igazolta a szabályzórendszer elvileg megjósolt viselkedését.

A 7. ábra a 6. ábra nyomvonalának repülése során rögzített magassági adatokat szemlélteti. A diagramon jól látható az akkumulátor kimerülésének hatása és az abból következő siklórepülésbe történő átmenet.

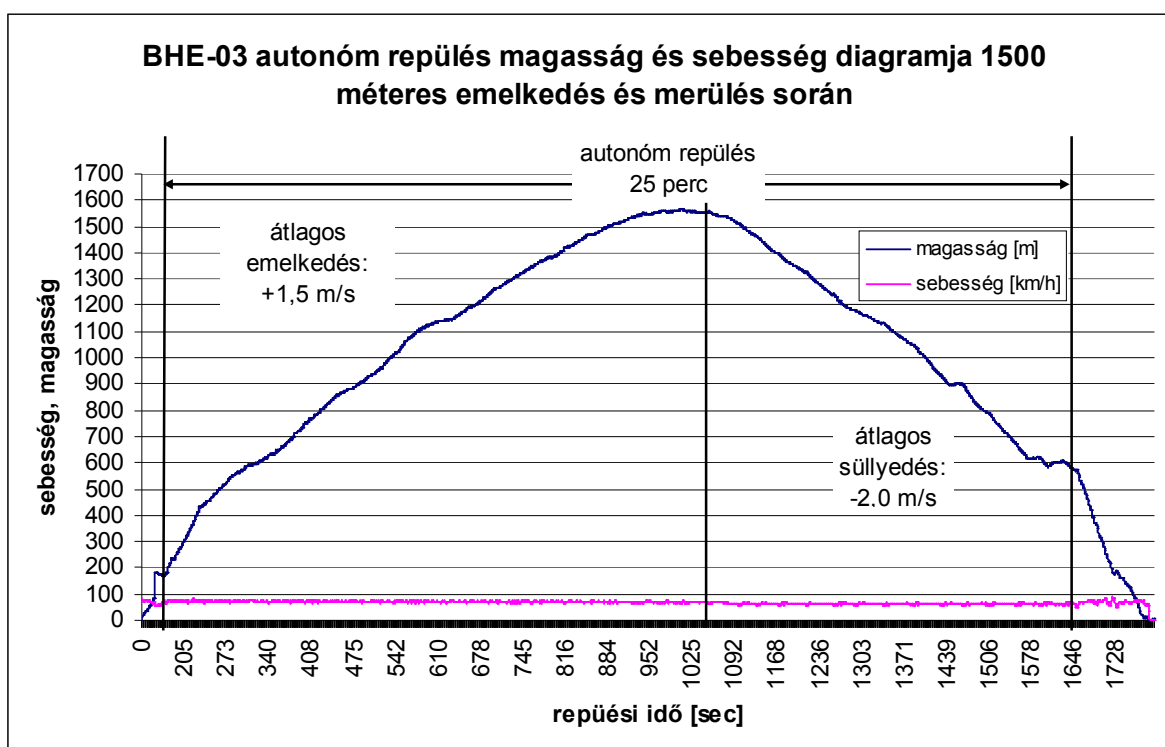


6. ábra, Négy fordulópontos autonóm repülés nyomvonala

Az 5. ábrán jól látható, hogy a repülés nyomvonala az eddigi nyomvonalakhoz képest simább, az egyes körök közötti eltérés mértéke jelentős mértékben csökkent. A kísérlet során a gép repülési sebessége 80 km/h, magassága 140 méter volt starthely felett.

A pontosabb mérések érdekében szükségessé váltak hosszabb egyenes szakaszokból felépített repülések. Ezeket a kísérleteket már csak zárt légterekben lehetett végrehajtani, mivel a repülés teljes időtartama alatt már nem volt biztosítható a közvetlen manuális vezetés.

A 6. ábra egy nagy magasságú (1500



7. ábra, négy fordulópontos autonóm repülés magasságprofilja

A kísérletek eredményei alapján lehetőség nyílt nagyobb távolságú és nagyobb magasságú repülésekre. Ugyancsak zárt légtérben történtek sikeres repülések 20 km-es távolsági, illetve 2000 méteres magassági céllal. Annak érdekében, hogy a repülőgép nagy biztonsággal legyen üzemeltethető szükségessé vált a fedélzeti rendszer megbízhatóságának fokozása. Tekintettel arra, hogy a robotrendszer nem igényli az állandó kapcsolattartást a földi követő állomással, a megbízhatóság növelését elsősorban a fedélzeti, autonóm rendszer módosításával kívánjuk elérni.

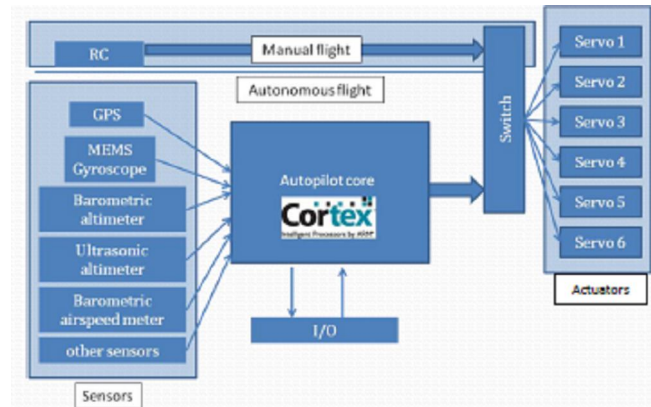
## REDUNDÁNS KÉZI IRÁNYÍTÁS

A robotrepülőgép fejlesztése során a tesztrepülések alkalmával kiemelt szerepet kap a manuális irányítás. Annak érdekében, hogy a fedélzeti szenzorokat, telemetriát be lehessen kalibrálni, szükséges több kézi repülés végrehajtása. Csak azután lehet a különböző szabályzókat behangolni, miután a rendelkezésre állnak megfelelő pontosságú és felbontású szenzoros értékek. A manuális irányítás biztonságát szem előtt tartva szükséges kettő darab, különböző frekvenciájú RC vevő elhelyezése a repülőgépen, oly módon, hogy a vevőantennájuk egymással 90 fokos szöget zárjanak be. A két vevőt egy vevő közösítővel kell összekötni, amelyik a vevők failsafe (35MHz analóg rendszerek esetén PCM modulációval vagy bármely 2,4GHz digitális rendszer) csatornáját figyelve mindig azt a modult teszi aktívvá, amelyiknek jobb a vétele.

Manuális repüléssel kellő mérési adat gyűjthető a szenzorok ellenőrzéséhez és kalibrációjához. Amint ez megtörtént, következhet a szabályzók független hangolása.

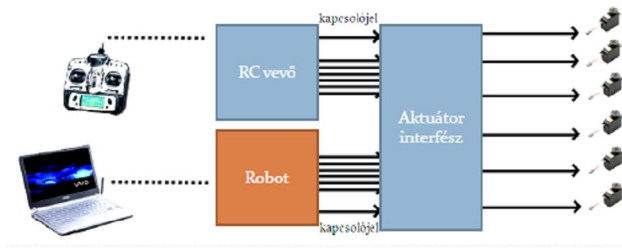
## AUTONÓM – MANUÁLIS MÓD ÁTKAPCSOLÓ

A szabályzókat célszerű először egymástól függetlenül beállítani, majd utána együtt tesztelni azokat. Szükséges egy olyan kapcsoló interfész kialakítása, amellyel meg lehet oldani repülés közben a manuális és autonóm mód közötti átváltást (8. ábra). A teljes átkapcsolás a korai tesztrepülések során különösen veszélyes, mivel az egyes szabályzó körök még nincsenek finom hangolva. Ezen szabályzó körök független tesztelését esetén csak úgy lehet megoldani, hogy a kábelezéskor ki kell iktatni a manuálisan vezérelt kormányfelületek esetén a kapcsolót.



8. ábra, Autonóm – manuális mód kapcsoló sémája

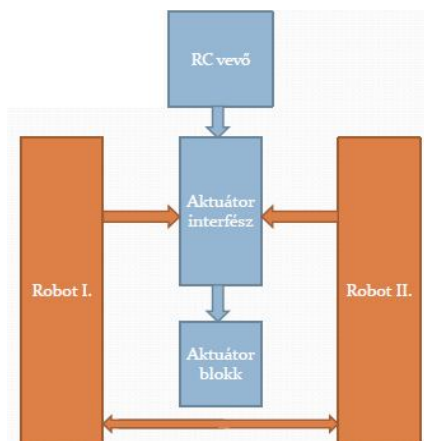
lehesen, akár repülés közben állítani. Ehhez egy autonóm/manuális kapcsoló interfészre van szükség.



9. ábra, Kapcsoló interfész

lehet konfigurálni a robotpanelen keresztül [2].

Az interfész kimenetére a repülőgép kormányfelületeit vezérlő aktuátorok vannak csatlakoztatva. A kapcsolót lehetőség szerint diszkrét áramköri elemekből célszerű összeállítani processzoros feldolgozás helyett, megelőzve a szoftveres hiba miatti komoly károkat.



10. ábra, Redundáns robotvezérlő

Mivel a szabályzó körök független teszteléskor a robotrepülőgép kormányfelületeit részben az robotpilóta, részben pedig az emberi berepülőpilóta irányítja (pl. magasságtartás esetén a robot vezérli a motor csatornát, a többit pedig az emberi pilóta), célszerű, hogy a csatornák jelének forrását tetszőlegesen

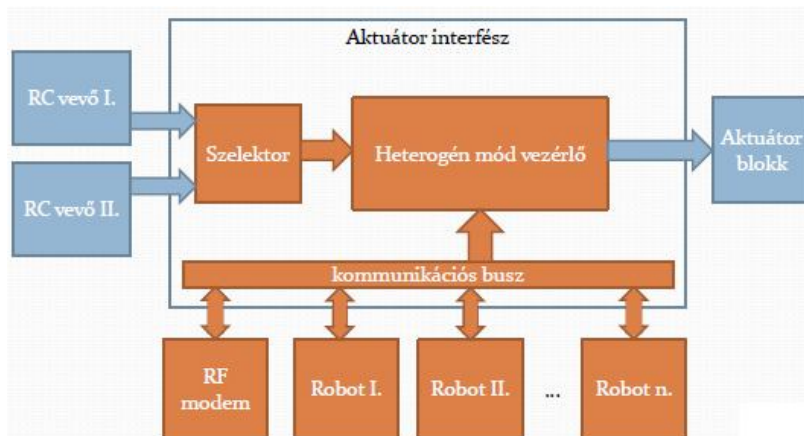
Az interfésznek három bemenete van. Az egyik a vevő közösítő kimenete, a második pedig a robotpanelről érkező vezérlőjelek. A harmadik bemenete egy kiválasztó - kapcsoló logika, amely meghatározza, hogy az aktuális kormányfelületre melyik bementi vezérlő jel kerüljön (9. ábra). Ezt a földi állomásról küldött parancsokkal

## REDUNDÁNS ROBOTVEZÉRLŐ

Természetesen az autonóm repüléskor is biztosítani kell a redundáns működést [3]. Nem elég csupán kettő ekvivalens robotpilóta alkalmazása (pl. több vezérlő processzor), hanem a teljes fedélzeti rendszert duplikálni kell (10. ábra). Több független robotpanelre van szükség, amelyik mindegyikének komplett rendszert kell alkotnia, különálló táprendszerrel és szenzorblokkal (GPS,

barometrikus szenzorok stb.) kell rendelkeznie. Ehhez az interfész panelt ki kell egészíteni oly módon, hogy több ekvivalens robotpanelt lehessen csatlakoztatni hozzá. Az egyik panel a „mester”, a másik a „szolga”. A robotpanelek egymással alacsony szinten kommunikálnak, és hiba esetén a „szolga” el tudja venni az irányítást a „mestertől”.

Kettő panel alkalmazása esetén ez nem lehet megfelelő biztonsággal eldönteni, hogy melyik robot a hibás. Az egyszerű áramköri elemekből felépített interfész panel további bővítése viszont az alkatrészsűrűséget és bonyolultságot túlzott mértékben növeli, ezért azt le kell cserélni egy FPGA áramkörre (11. ábra).



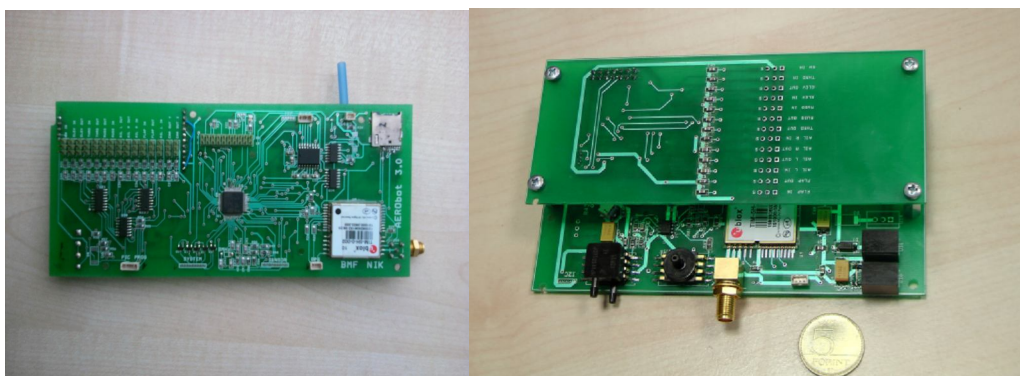
11. ábra, Fejlett redundáns robotvezérlő

Ehhez a központi interfészhez csatlakozik a két RC vevőegység analóg (9 PWM csatorna) módon, valamint egy közös buszrendszerre a több (min. 3) független robotpanel és az RF modem. A buszrendszeren történik a robotok közti valamint a robot és föld közötti kommunikáció, és az érvényre jutó robot jelének kiválasztása. Az azonos adatot mérő

robotok figyelmen kívül tudják hagyni a hibásat.

## ÖSSZEGZÉS

A robotrepülő vezérlő több lépcsős fejlesztése és különböző kialakítású repülőgépeken végrehajtott tesztelése során megszerzett tapasztalatok alapján a rendszer újratervezése megtörtént. (12. ábra). Az újratervezés során kiemelt figyelmet fordítottunk a moduláris felépítésre és a repülésbiztonság növelésére a fedélzeti rendszerek redundanciájának



12. ábra, Régi és új robotvezérlő

növelésén keresztül. A moduláris felépítésnek köszönhetően az új rendszer képességi bizonyos határok között skálázhatóak. Ennek köszönhetően a rendszer autonóm repülések megvalósítása tekintetében alkalmas az egyszerű, alacsony költségű robotrepülőtől a bonyolult, nagyméretű és drága robotrepülőgépekig.

## Hivatkozások

- [1] Molnár, A. (2010). Robotrepülőgépek repülésstabilizálásának és navigációjának új megközelítése, XVII. Repüléstudományi Napok Konferencia kiadványa, Budapest, 2010. november 11-12.
- [2] D. Stojcsics: “Heterogenous control of small size unmanned aerial vehicles”, Proceedings of 10<sup>th</sup> International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, ISBN: 978-963-7154-96-6, Budapest, Hungary, 2009, pp. 745-752.
- [3] Makkay, Imre (2010) Design the Advanced Avionics for “FanWing” UAV, Repüléstudományi Közlemények különszám 2010 április 16.