

Kubovics Balázs¹ – Makkay Imre²

ROBOTREPÜLŐGÉPEK MAGASSÁGMÉRŐ RENDSZEREI³

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. A repülések tervezett útvonalon történő végrehajtása érdekében a légi jármű magasságát folyamatosan mérni kell. Az adatokat a fedélzeti és földi irányító rendszer számára a megfelelő formában el kell juttatni. A repülés biztonsága érdekében a magassági adatokat több forrásból is meg kell erősíteni. Az írásműben az alkalmazható magasságmérési elveket és eszközöket áttekintve a feladathoz illeszkedő, többszörösen ellenőrzött adatokat szolgáltató rendszer tervét ismertetjük.

ROBOT AIRCRAFT ALTITUDE MEASUREMENT SYSTEM

The „Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft” research program is planned a significant number of autonomous robotic aircraft operation. The planned route of flight of the aircraft in order to implement the height shall be measured continuously. The data from the airborne and ground control system for the appropriate form should be sent. The safety issues the flight altitude data from multiple sources to be strengthened. The writing piece was used for height measurement principles and tools for reviewing the matching task, multi-service system design information checked below.

BEVEZETÉS

A korábban hagyományos eszközökkel felszerelt hadseregek egyre gyorsuló ütemben modernizálják arzenáljaikat, és egyre több olyan fejlett technikai eszközt alkalmaznak, mint amilyenek a pilóta nélküli repülőgépek.

Az UAV-ok (Unmanned Aerial Vehicle) vagy robotrepülőgépek számos olyan feladatra alkalmazhatóak, amelyek mindezáig csak emberi élet (nevezetesen a pilóta életének) kockáztatásával voltak csak megvalósíthatóak. A mai modern hadviselésben ezért egyre nagyobb teret nyernek az ilyen típusú repülő eszközök. A pilótánélküliség sok előnyt biztosít a tervezőknek. Egyfelől mivel nincs ember a repülőgép fedélzetén így az emberi élet körülményeit biztosító rendszerek feleslegessé válhatnak, valamint olyan repülési manővereket is lehetővé tesz amit eddig a pilóta szervezetének tűrőképessége nem engedett meg. A fejlesztések folyamatosak és a lehetőségeknek szinte csak a fejlesztésre szánt anyagi korlátok szabnak határt.

Minden robotrepülőgép alapvető követelménye, hogy a jármű robotpilótája földi irányító egység felé a lehető legpontosabb repülési adatokat továbbítsa. Ezen legfontosabb repülési paraméterek, mint amilyen a sebesség, magasság, dőlésszög, állásszög stb. mérése továbbra is a gépen történik. Nagyon fontos a navigáció és a repülési cél sikeres elérése érdekében a fent említett adatok több forrásból történő mérése, megerősítése.

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kuboo1112 @gmail.com

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

³ Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

A tanszéken több éve folyó kutatómunka egyik kiemelt területe a repülésbiztonság növelése, amelynek – az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” keretein belül – e publikáció is része kíván lenni.

MAGASSÁGMÉRÉSI ELJÁRÁSOK ROBOTREPÜLŐGÉPEKEN

A repülési magassági fontossága

A navigáció, le- és felszállás, feladat végrehajtás és csapásmérés szempontjából is az egyik legfontosabb repülési adat a magasság. Természetesen a légi járművek magasságának pontos ismeretek nem csak a repülőgép vezetők érdeke, hanem a földi légiforgalmi irányítók számára is elengedhetetlenül fontos. A repülőgép pillanatnyi magasságát alapvetően háromféle szint-hez képest állapíthatjuk meg.

Megkülönböztetünk:

- *abszolút magasságot (QNH)*: ami a tenger szintjéhez viszonyított magasság.
- *viszonylagos (relatív) magasságot (QFE)*: ami valamilyen földrajzi hely szintjéhez, pl. felszálló- vagy leszálló repülőtér szintjéhez viszonyított magasság, és
- *tényleges magasságot*: ami mindenkor az adott pillanatban átrepült terep szintjéhez viszonyított magasság.

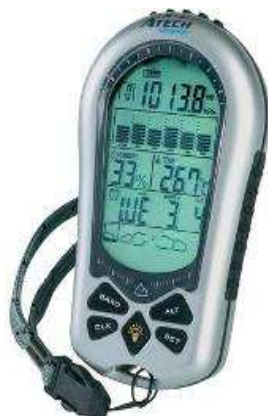
A magassági adatok fontosságát számos példán keresztül lehet bizonyítani. Nem kell messzire mennünk az időben, hogy találjunk olyan repülőgép szerencsétlenségeket, amik a magasságmérő műszerek meghibásodása miatt történtek. 2009 februárjában Amszterdamban egy török 737-es zuhant le mert meghibásodott a rádió magasságmérő műszere, igaz ezen kívül a pilóták rossz reakciói is kellettek a szerencsétlenséghez. A rossz magassági adatot figyelembe véve a robotpilóta megkezdte a leszállást, holott még jóval a leszállási magasság fölött repült a gép. A hajtóművek működésének visszaesése és az, hogy a pilóták nem iktatták ki a rosszul működő robotpilótát, 9 emberéletet követelt. [1]

Egy 2008-as eset arra mutat rá, hogy nem elegendő, hogyha a mérőeszközeink duplikáltan találhatóak meg a légi járművünkön, de fontos, hogy azok akár elektromos táplálás nélkül is rendelkezésre álljanak. 2008 márciusában történt, hogy egy 180 fő utast szállító repülőgép elektromos ellátása meghibásodott, mert a generátoroktól nem jutott el a megtermelt áram az akkumulátorokig, így egy idő után elfogyott a tartalék áramforrás. Szerencs a szerencsétlenségben, hogy a repülőgép a célreptér közelében repült ekkor és a pilóták mindössze saját érzékszerveik segítségével le tudták tenni a repülőt és sérülés nélkül végződött a meghibásodás.

Mivel a robotrepülőgépeken nincs személyzet, aki adott, kritikus esetben (műszer meghibásodása, fals adatszolgáltatás esetén) meg tudná becsülni a repülőgép magasságát, például leszállásnál, ezért az UAV-ok magasságadatait is több forrásból meg kell erősíteni. Ebből kifolyólag érdemes tehát átgondolni, hogy a barometrikus magasságmérőink mellé egy fel- és leszálláshoz nagyon hasznos, kis mérési tartományú akusztikus magasságmérőt, illetve egy közepes magasságú repülésekhez jól használható rádió magasságmérőt is beszereljünk. Ha e három rendszer mellé még a repülési fázisokban társul a műholdas magassági adat, akkor nagy valószínűséggel állítható, hogy a biztonságos repüléshez lesz (legalább kettő) összecsengő magassági adatunk.

Tekintsük át ezeket az eljárásokat – első sorban a robotrepülőgépek igényeinek figyelembe vételével.

A barometrikus magasságmérés



1. kép Egy ma használatos kézi barometrikus magasságmérő ⁴

A magasság mérésére feladattól és repülőgéptípustól függően többféle eszköz, módszer használható. A legalapvetőbb és legrégebbi mérési módszer a barometrikus, magasságmérés. Ezen módszer is többféle lehet. A legegyszerűbb és talán legelterjedtebb a szelencés barometrikus mérés. Elve az, hogy a légkör nyomása a magasság függvényében meghatározott törvényszerűség szerint változik. Ilyenkor a magasságmérő egy vagy több szelencéből álló barométer. A szelencék a légmentesen zárt műszerházban vannak elhelyezve, amelybe a Pitot- cső statikus nyomása van bevezetve. A szelence a nyomás hatására összenyomódik. A magasság növekedésével a statikus nyomás csökken, tehát csökken a műszerházban a nyomás. Ennek következtében a szelence kitágul és az áttételen keresztül a mutatókat elmozdítja, amely egy méterben kalibrált számlap előtt mozog. Az ilyenfajta magasságmérés elsősorban a pilóta számára tud megfelelő adatokat biztosítani.

A robotrepülőgépek esetében a barometrikus mérőeszköz nem szelencés műszer, hanem egy digitális nyomásmérő, amely a rávezetett nyomásértékből egy digitális jelet továbbít. Ezt a digitális jelet tudja a fedélzeti számítógép magasságértékké alakítani. Az ilyen nyomásmérőket használják ma a legtöbb modern repülőgépen.

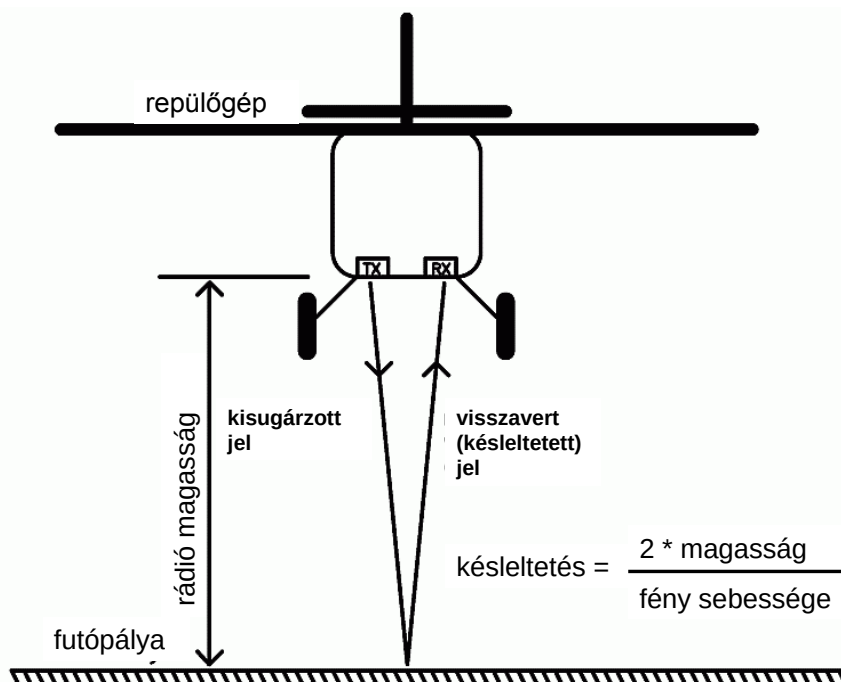
A barometrikus magasságmérő műszerekkel a viszonylagos (QFE) vagy abszolút (QNH) magasságot mérjük. A módszer hátránya hogy a levegő nyomásértékei nem csak a magasság, de a hőmérséklet illetve az időjárási viszonyok változásával is módosulnak. Ebből adódóan a mért magasságérték hibás, pontatlan lehet. Ennek elkerülése érdekében, különböző technikai mechanikai korrigálásokat alkalmaznak. A mérés másik hátránya, hogy a magasabb légrétegekben a levegő statikus nyomása már nem, vagy csak nagyon nagy hibával mérhető így bizonyos magasságok fölött a barometrikus mérés nem alkalmazható.

Rádió magasságmérés

A magasságmérés egyik, az előzőektől eltérő módszere a rádió magasságmérés. Ez a módszer

⁴ http://www.electronic.hu/Hobby/Outdoor/Magassagmero/Magassagmero_es_barometer

is már régóta segíti a repülőgépek navigációját, hiszen már a II. világháborúban is alkalmazták a módszert a német vadászipülőgépeken is. Ennek elve, hogy a repülőgépen lévő elektromágneses hullámokat kibocsátó adó a Föld felszínére irányítja hullámaint melyek visszaverődnek onnan és szintén a repülőgéphez épített vevő felfogja azokat. A hullámok terjedési sebességét és a kibocsátás valamint az észlelés közt eltelt idő ismerete alapján számolható a repülőgép földfelszínhez viszonyított tényleges magassága.



1. ábra A rádió magasságmérés elve⁵

A rendszerhez tartozik egy tápláló generátor is, ami plusz súlyt jelent a gép számára. A rendszer hátránya, hogy csak alacsony magasságokban, földközeltől körülbelül 1000 méteres magasságig használható jól a magasság mérésére. Ezekben az alacsony vagy szinte földközeli magasságokban viszont kitűnően használható. [2][3][4]

Akusztikus magasságmérés

A rádió magasságméréshez igen hasonló mérési módszer az akusztikus, hanghullámok alapján történő magasságmérés. Az elv itt is hasonló, mint a rádióhullámok esetén. A szárnyba vagy szárnyakba szerelt adó-vevő készülék kibocsátja a hanghullámokat, melyeket a visszaverődés után befog, majd a két művelet közt eltelt idő alapján számítja a repülési magasságot. Ezek a szerkezetek csak nagyon alacsony magasságokban, 4 méteres magasságig működnek jól ezért felhasználási területük elsősorban a leszállító rendszereken belül található.

A műholdas magasságmérés

Egy a XX. század vívmányainak köszönhető, repülési magasságot biztosító mérési rendszer a GPS - globális helymeghatározó rendszer – alapú magasságmérés. Az USA által tervezett és

⁵ <http://lea.hamradio.si/~s53mv/radalt/radalt.html> alapján a szerzők fordítása

üzemeltetett műholdas helymeghatározó rendszer, a Föld bármely pontján, bármikor, időjárástól függetlenül elérhető.

A helymeghatározás elmélete analitikus geometriai módszereken nyugszik. A műholdas helymeghatározó rendszer időmérésre visszavezetett távolságmérésen alapul. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, és ismerjük a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejét, ezek alapján meghatározhatjuk a forrás távolságát. A háromdimenziós térben három ismert helyzetű ponttól mért távolság pontos ismeretében már meg tudjuk határozni a pozíciót. A további műholdakra mért távolságokkal pontosítani tudjuk ezt az értéket. A földi hely meghatározáshoz elegendő, ha a vevőkészülékünk minimum három műhold jelét érzékeli, a levegőben történő hely, egyúttal magasság meghatározásához viszont további legalább kettő műhold jelét kell érzékelnie a vevőkészüléknek. Előnye a többi mérési módszerhez viszonyítva, hogy a műholdak keringési magasságából adódóan a mérési határa igen magas, elérheti akár a 15000 méteres magasságot is.

Ebből adódik egyik nagy hátránya, hogy mivel a műholdak keringése állandó így a vevőkészüléknek kevés ideje van a megfelelő számú műhold jelét venni. Emiatt a vevő által számított magassági értékek hibája túl nagy, illetve ingadozó lesz. A folyamatos és nagymértékű változások miatt a repülésben magasságmérésre nem a legjobban alkalmazható módszer. További hátránya még a korábbi mérési lehetőségekkel szemben, hogy a műholdrendszer ugyan a nap minden percében, időjárástól függetlenül rendelkezésre áll, de a felhasználókat az üzemeltető- USA -(más hasonló jelenleg kiépítés alatt álló rendszerek esetén Kína, Oroszország, Európai unió) korlátozhatja, zavarhatja (lásd a délszláv háború idején kibocsátott zavaró jel ami akár több száz méteres eltérést eredményezett). Egy ilyen kívánt felhasználás esetén ez meglehetősen hátrányos lehet.

A magasság meghatározása a robotrepülőgépen

A robotrepülőgépek repülésbiztonságának növelés érdekében tehát a repülési magasság meghatározásánál, nem hagyatkozhatunk egy műszer adataira, hanem több forrásból kapott adatok alapján kell meghatároznunk a magasságunkat. Ennek érdekében nem elegendő, ha az egyik típusú rendszerünket megduplázzuk, hanem többféle mérési rendszert kell párhuzamosan alkalmaznunk. Ilyen esetben belátható, hogy problémát okozhat, hogy a többféle műszerünk többféle nyomás, magasság értéket biztosít nekünk. Elsődleges feladatunk, hogy a különböző műszerek adatait egységes és továbbítható formába hozzuk. A probléma megoldása érdekében érdemes már akár a műszerünket úgy megválasztanunk, hogy az számunkra megfelelő formájú, lehetőleg digitális jelet adjon. Ha ez nem valósítható meg, akkor a mérőeszköz és a fedélzeti számítógép közé egy analóg-digitális átalakítót kell beépítenünk.

Ha a fenti problémát sikerült megoldanunk, akkor a kapott értékeket a fedélzeti számítógépünknek kell eljuttatni. A robotrepülőgép magasságát ezután a legcélszerűbb egy összehasonlítás alapján megállapítanunk. A különböző értékek közül a számítógépünk a három, egymáshoz legközelebb eső magasságértékek számtani átlagát adja meg a magasságnak. Ennek szoftveres megvalósítása ma már egy viszonylag egyszerű feladat a programozók számára.

A fenti meghatározási módszerhez tehát biztosítanunk kell legalább 4 vagy 5 magasságértéket, amiből a fedélzeti számítógép a meghatározott eltérési határok alapján választani tud.

Ennek megvalósítása sokféleképpen történhet. A robotrepülőgépek számára ideális megoldás lenne, ha legalább két barometrikus elven működő mérőeszközünk lenne a gépen, illetve egy műholdas mérés alapján kapott értékkel is rendelkeznenék. Ezzel a módszerrel a közepes magasságú repülések esetében biztosítottá válhat a pontos magasság meghatározása.

Alacsonyabb magasságú repülések esetében érdemes egy rádió magasságmérővel kiegészítenünk adatainkat. A három különböző típusú mérési módszer együttes használata esetén a számított magasságunk még valamelyik eszközünk meghibásodása esetén is kis eltéréssel megközelíti a repülési magasságunkat.

A robotrepülőgépek esetén külön figyelmet kell fordítanunk a le illetve felszállások pontos és hibátlan végrehajtására. Mivel az irányító személy nincs a repülőgépen így kizárólag a műszerek által mutatott magassági adatok alapján szállítja le a repülőt, így ilyenkor kiemelkedően fontos a pontos magasság meghatározása. Ennek érdekében nagyon hasznos lehet a már meglévő rádió magasságmérő mellé egy akusztikus magasságmérő felszerelése a légi járművünkre. A két rendszer együttes működése biztosítani tudja a megfelelő adatokat a pontos leszálláshoz egészen a kerekek földet éréséig. Ezzel elkerülhetőek az olyan balesetek melyek a pontatlan vagy rossz magassági adatokból kifolyólag történtek a leszállás közben.

A MICROPILOT ROBOTPILOTÁINAK MAGASSÁGMÉRŐ RENDSZERE

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [5] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légitől 60 országban több mint 600 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A MicroPilot széles palettát ajánl a felhasználóknak – a kezdők számára az MP1028^g, a haladóknak az MP2028^g adhat megoldást, a profik az MP2128^g vagy az MP2128^{HELI} változattal míg a célrepülőgépekben az MP2028^{XP} (vissza nem térő) típussal számolhatnak.

Valamennyi rendelkezik barometrikus magasságmérővel, GPS vevővel és AGL – akusztikus magasságmérő is kapcsolható hozzájuk.

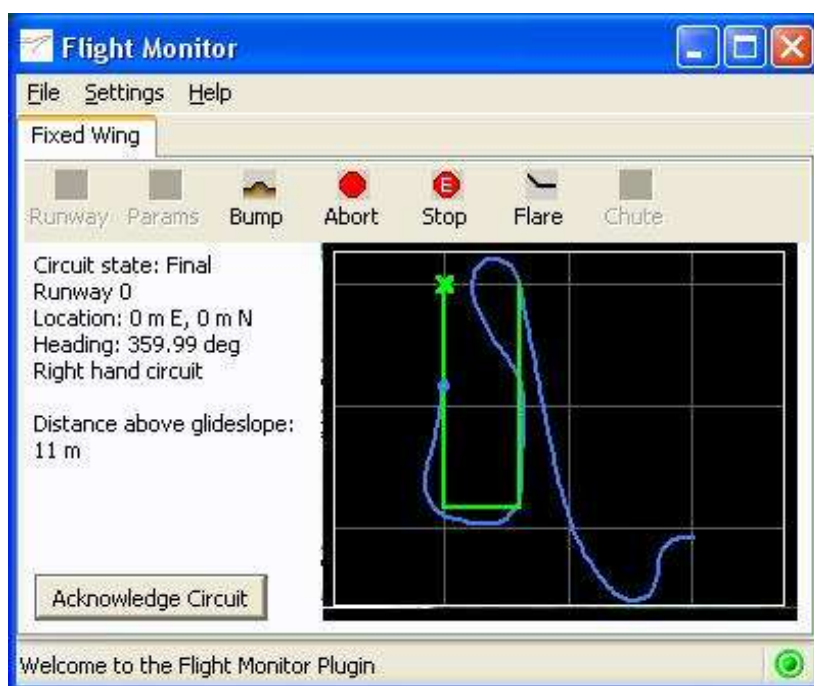
A MicroPilot automatikus fel- és leszállító üzemmódja

A MicroPilot fedélzeti robotjai – a Horizont földi irányító állomás programjával együtt – biztosítják a teljesen automatikus fel- és leszállás műszaki feltételeit.

A felszállás történhet a futópályáról kerékről, az autó tetején elhelyezett indító állványról, katapult, vagy gumikötél segítségével illetve kézből eldobva. A felszállást a légsebesség és a GPS alapján mért sebesség előírt értékénél engedélyezi a fedélzeti automatika. A futópályáról végrehajtott automatikus fel és leszálláshoz akusztikus magasságmérő is szükséges.

A felszállási parancs kiadható az RC távirányítón 4 másodpercig teljes tolóerőt állítva, a repülőgépen elhelyezett „START” kapcsoló 4 másodperces nyomva tartásával, vagy a katapult kioldójával. A megfelelő sebesség elérése után a fedélzeti rendszer autonóm üzemre kapcsol és megkezdődik a feladat szerint a repülőgép irányítását. Ha a repülőgép valamilyen oknál fogva nem gyorsult

fel az előírt sebességre, akkor a robotpilóta a felszállást nem engedélyezi – megszakítja.



2. kép A MicroPilot autonóm leszállási paramétereinek beállítása⁶

A felszállás és a földet érés helye (magassága, orientációja) eltérhet egymástól. Az útvonalról visszatérő repülőgép egy iskolakör második (hátszeles) szakaszához csatlakozik és a rövid (keresztseles) fal után a megadott pályairányon lesüllyed a repülőtér megadott szintjéig. (2. kép)

A felszállás helyén mért magasság – a GPS-el korrigált barometrikus nyomás értéke - és az útvonal fordulópontjainak előre beállított magassági értékei adják a repülés magassági lépcsőit. Az útvonalon repülő gép – amennyiben elérhető a Horizon adatátviteli csatorna „Connect” üzemmódjával – menet közben is megváltoztathatja a repülési magasságát.

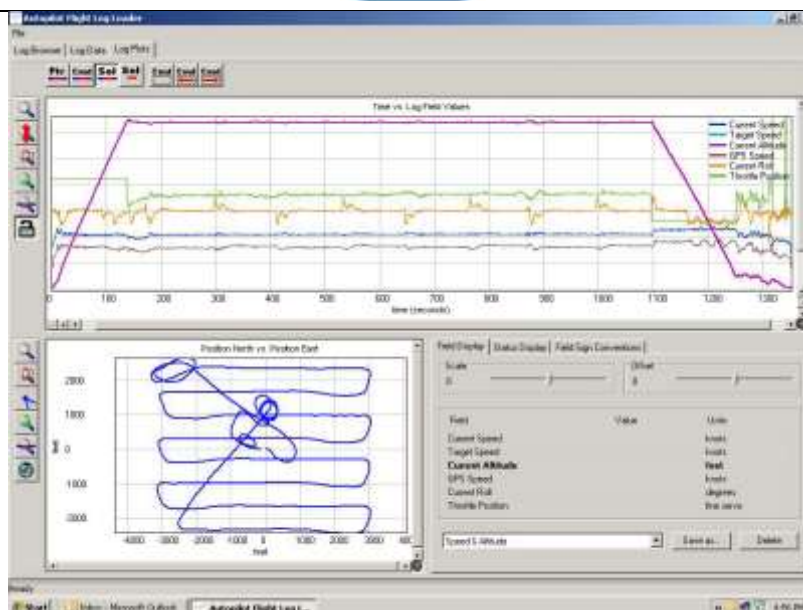
A megadott magasság tartására két eljárást lehet előre beprogramozni:

1. a tolóerő szabályzással, ekkor egy beállított magassági kormány-álláshoz a motor fordulatszámmal tartja az előírt magasságot (valójában a levegőhöz mért állandó sebességet);
2. a magassági kormánnyal, ekkor a motor bármilyen fordulatszámához a magassági kormánnyal kell a szintet tartani.

A második eljárás kényelmesebb – mindaddig, míg a motor a minimális, átesési sebességnél nagyobb tolóerőt biztosít, azonban ennek megszűnése esetén a magassági kormánnyt a robot túlhúzza (ennek ellenére már nem emelkedik) és a gép átesve, irányítatlanul dugóhúzóba kerül.

Az első módszer ilyen esetben megmentheti a gépet, mert a magassági kormány a minimális sebesség alá nem engedi lassulni és így egy irányítható merüléssel érhet földet.

⁶ <http://www.micropilot.com/products-horizonmp.htm>



3. kép A MicroPilot repülési adatrögzítője⁷

A MicroPilot fedélzeti adatrögzítőjéről (3.Kép) az események pontosan visszajátszhatók és a paraméter beállítások ezek segítségével korrigálhatók. Ez a funkció különösen hasznos egy új, vagy módosított sárkány / hajtómű / payload berepülésekor.

Akusztikus magasságmérő

A magasságmérés földközeli a fel és leszálláskor kerül az első helyre. A pálya szintjéhez mért magasság (QFE) szerint kell a talajérintés függőleges sebességét a lehető legkisebbre csökkenteni. Az akusztikus magasságmérő ezen az utolsó néhány méteren szolgál igen fontos adatokkal – ahol centiméterek jelentik a szabályzó kör számára a bemenő jel legkisebb egységét.



4. kép Az akusztikus magasságmérő antennája és adó/vevő berendezése⁸

Az akusztikus magasságmérő adó/vevő antennája piezoelektromos meghajtású fémmembrán, amelyiket a talaj felé nézve, a motortól minél távolabb, a szárny vagy a törzs megfelelő részére kell felszerelni úgy, hogy semmi ne árnyékolja a talaj felé haladó és a visszaverődő jeleket.

⁷ <http://www.micropilot.com/images/products/datalog-viewerlrg.htm>

⁸ A szerzők felvétele

Az adóvevő egység a MicroPilot AGL csatlakozóján keresztül kapcsolódik a fedélzeti egységhez – innen kap táplálást és a jelvezeték is ide csatlakozik.

Az akusztikus magasságmérő adatai szerint repül a gép amikor az előre beállított „aglLowThrottleSetting” érték alatt van a tolóerő – ez tipikusan a leszálláshoz közelítve a siklópálya megtörésekor kerül beállításra. Ugyanígy a felszállás előtt is, mindaddig, míg a tolóerő szabályzó a fenti értéket nem éri el.

Barometrikus magasságmérő

A MicroPilot robotpilóta egysége a barometrikus magasságot nyomásmérő érzékelő jele alapján számolja – egyeztetve a GPS vevő magassági adataival. A légsebesség mérésére is ugyanilyen érzékelőt alkalmaz – a torló nyomást szilikon csövön bevezetve.

A barometrikus magasságmérő által mutatott nyomás a helyi időjárás változását is követi, ezért időnként kalibrálásra szorul. A GPS-ről vett pillanatnyi magasságadatok ugyan „dobálnak”, de megfelelő szűrő algoritmussal ezek is szinten tarthatók és a referencia jelet innen származtatják – mert az nem időjárásfüggő.



5. kép Az MP2028 alaplapja két nyomásmérő érzékelővel és a GPS vevővel⁹

A barometrikus magasságmérő és a sebességmérő is érzékeny a pára, nedvesség és főleg a jegesedés lehetőségére. Nagyobb robotrepülőgépeken a jégtelenítő rendszer is megtalálható, ami az érzékelők és a bemenetekre csatlakozó csőrendszer fűtéséről gondoskodik.

ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépeken – mint minden más légi járművön – elsődleges adat az eszköz talaj feletti magassága. A magassági adatot több forrásból meg kell erősíteni – erre szolgáló eljárásokkal, eszközökkel a NKE HHK KÜLI KRLT kísérleti berendezéseinek végzünk méréseket. A MicroPilot egyetemi kutatásokra is alkalmas teljes konfigurációja rendelkezésünkre áll. A kutatások a megfelelő redundáns elemek kiválasztása és összeintegrálása irányába folynak. A magasságmérő eszközök és eljárások ebben kiemelt szerepet töltenek be.

⁹ A szerzők felvétele

A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

Alprogram: Adatintegráció

Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitársaságok alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.flightglobal.com/news/articles/crashed-turkish-737s-thrust-fell-after-sudden-altimeter-step-change-323388/>
- [2] <http://lea.hamradio.si/~s53mv/radalt/radalt.html>
- [3] <http://www.roke.co.uk/mra/>
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=ReGVMWUKSFY>
- [5] <http://www.micropilot.com/>