

Horváth Zoltán

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ÚTVONALTERVEZÉSE DIGITÁLIS DOMBORZAT MODELL ALKALMAZÁSÁVAL

A pilóta nélküli repülő eszközök (UAV) alkalmazása számos előnyt rejt magában. Az alkalmazók épségének veszélyeztetése nélkül felderítő, vagy kutató feladatok végrehajtását végezhetik nehezen megközelíthető, vagy veszélyes terepen, biztonságos távolságról irányítva. Az UAV alkalmazása során viszont komoly korlátot jelent az a tény, hogy a repülés biztonsága erősen függ a repülőgép és a földi irányítópont közötti kapcsolat folyamatosságától. A kutatások megcélozták olyan kisméretű, kis költségű fedélzeti rendszerek létrehozását, melyek képesek arra, hogy az UAV-t végigvezessék egy előre kidolgozott útvonalon, az útvonalak kidolgozása viszont hagyományos térképeken történik. Főleg kis magasságon, a domborzat komoly veszélyt jelent az UAV-ra. A térinformatika térhódításának egyik eredménye a számítógépekkel feldolgozható digitális térképek elterjedése. Munkám fő célja, hogy Digitális Domborzat Modellt alkalmazva bemutassam, hogyan lehet a tervezőmunkát meggyorsítani, az alkalmazók munkáját könnyíteni, kiküszöbölve a domborzat okozta veszélyt.

A Pilóta nélküli repülőgépek előnyei és hátrányai

A technológiai fejlődés lehetővé teszi kis méretű és kis tömegű fedélzeti eszközök alkalmazását. A földi irányítóponton lehetőség nyílik az UAV irányítására rádiócsatornán keresztül. A fedélzeten elhelyezett érzékelők és a helymeghatározó rendszer folyamatosan közli az UAV üzemi paramétereit és pozícióját, fedélzeti kamerája képeket közvetít az UAV előtti légtérről, vagy célterületről.

Az üzemeltetés és az üzemeltetés lényegesen költségkímélőbb a hagyományos repülőeszközökhöz viszonyítva. A bevetéshez az előkészítés, bevetés után a karbantartás gyorsabban elvégezhető.

Az alkalmazói alkalmasság nincs a légi üzemeltetéshez szükséges egészségügyi követelményekhez kötve. Az alkalmazói képzés lényegesen kevesebb időt, olcsóbb és kevesebb üzemórát vesz igénybe.

Az irányítás és értékelés „földön történő elhelyezése” lehetővé teszi az UAV méretének drasztikus csökkentését. Az UAV a kis méret és a kevés „árulkódó jel” miatt nehezen felderíthető és megsemmisíthető eszköz.

Előnyei mellett számolni kell néhány komoly hátránnyal is. Bár az alkalmazókkal szemben támasztott követelmények csökkenthetők, az UAV alkal-

mazása jól felkészült szakembereket igényel. Jól kell ismerniük az általuk irányított eszközöket, szinte pilótává kell válniuk a feladat végrehajtása során. Egy kezelő egyidejűleg csak egy UAV irányítására képes, amely a feladatvégrehajtása időszakában teljesen leköti a kezelő figyelmét. Minden pillanatban ismerniük kell az UAV pozícióját, helyzetét, repülési paramétereit és lehetőségeit. Ismerniük kell a biztonságos repülés feltételeit. Ennek hiányában könnyen elveszthetik az uralmat az UAV felett, „eltévedhetnek” feladatvégrehajtás közben, vagy olyan manőver végrehajtására készítetik az UAV-t, mely következtében az UAV szerkezeti károsodást szenved.

A fedélzeten alkalmazott technikai eszközök mennyisége össztömegükből adódóan limitált. Kis méretű, kis tömegű és nagy integráltságú eszközöket kell alkalmazni a fedélzeten. Ezért célszerű megvizsgálni az egyes fedélzeti eszközök komplex alkalmazásában rejlő lehetőségeket és az egyes eszközök többcélú alkalmazásának lehetőségét.

Mivel az irányítás és az adattovábbítás rádiócsatornán történik, ezért ezek a rendszerek könnyen bemérhetők és zavarhatók. A zavarás, vagy a domborzat takarásából adódó fading az összeköttetés folyamatosságát veszélyezteti, a megbomló összeköttetés a repülőgép elvesztését idézheti elő. Időszakos összeköttetés-kiesés esetén, „vakrepülés” biztonságos végrehajtására az UAV nincs felkészítve. A terepdomborzat rádióösszeköttetés nélküli követése további fedélzeti rendszerek telepítését igényli, ami extra igény egy kis- vagy közepes hatótávolságú UAV esetén.

Az UAV útvonaltervezése hagyományos térképek alapján történik. A hagyományos térképek kiértékelése a domborzat szempontjából időigényes és eléggé pontatlan. Annak meghatározása, hogy a földi irányítópont mekkora terepszakaszon képes az összeköttetés fenntartására, különösen összetett probléma. Említésre méltó probléma még a hagyományos térképek és a GPS vevők által alkalmazott koordináta-rendszerek közötti átjárhatóság biztosítása, a kölcsönös megfeleltethetőség.

A pilóta nélküli repülőgépek irányítása

A hagyományos repülőgép modellek irányítási rendszere, melyek alkalmassá tehetők felderítési, kutatási feladatok végrehajtására a következőképpen épül fel. A földi irányító pontról a kezelő rádiócsatornán szabályozza a hajtómotor teljesítményét, a repülőgép orsózó, bólintó és legyező mozgását. A repülőgép fedélzeti eszközei szintén rádiócsatornán közvetítik a kezelőnek a repülési sebességet, a repülőgép pozícióját, magasságát, GPS koordinátáit, a repülőgép előtti légtér képét. Ez alapján az irányítás megvalósítható. Működését tekintve ez a rendszer úgy néz ki, mintha a kezelő a repülőgép fedélzetén ülve, pilótaként

hajtáná végre feladatát. Ez a rendszer valamennyi, az előbb felsorolt hátrányt tartalmazza. (1. ábra)



1. ábra: UAV hagyományos irányítása

Számítógépet elhelyezve az UAV fedélzetére gyökeresen megváltozik a helyzet. A földi irányítási pont utasításai leegyszerűsödnek repülési irányt, vagy elérendő koordinátát meghatározó paranccsá. A fedélzeti számítógép ez alapján, figyelembe véve a repülés paramétereit és az UAV lehetőségeit, tartja a repülési sebességet, irányt, kivitelezzi a manőverek végrehajtását. Az UAV fedélzetéről a földi irányító pontra sugárzott repülési paraméterek inkább tájékoztatják a kezelőt, mint alátámasztják a közvetlen irányítást. (2. ábra)



2. ábra: UAV irányítása fedélzeti számítógép támogatásával

Ez a rendszer számos hátrány felszámolását célozza meg. Az UAV kezelőnek nem egy pilóta, sokkal inkább egy repülés irányító feladatait kell ellátnia,

eltekintve a felszállás és a leszállás fázisától. Megadja a repülési útvonalat, majd felügyeli a végrehajtást. Ezért egy kezelő alkalmassá válik több UAV repülésének egyidejű felügyeletére, miközben az UAV szerkezeti biztonságáról, a manőverek biztonságos kidolgozásáról a fedélzeti számítógép gondoskodik.

A fedélzeti számítógép, vagy a földi irányító pont számítógépe azt a feladatot is elláthatja, hogy a különböző (térképi és GPS) koordináta-rendszerek közötti koordináta-transzformációt elvégzi az egységes megjelenítés érdekében. Így könnyebbé válik az útvonal tervezése és a repülés végrehajtásának figyelemmel kísérése.

Az ilyen rendszer sokkal védettebb az időszakos összeköttetés kiesésével szemben. A fedélzeti számítógép előre kidolgozott algoritmusokkal felkészíthető arra, hogy mi a teendő tartósabb kapcsolathiány esetén. A zavarállóság növekedése mellett a vakrepülés is bizonyos szintig megvalósítható. További problémaként merül fel a terepkövető, vagy a kismagasságú repülés biztonságának kérdése.

A terepdomborzat hatása a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazására

Kismagasságú repüléskor, ami a közepes-, de inkább a kis hatótávolságú UAV jellemzője, hogy a legnagyobb veszélyt a terepdomborzat jelenti. Repülés közben biztonságos magasságot kell tartani a terep felett. Szem előtt kell tartani a repülőgép repülési paramétereit (fordulási sugár, maximális emelkedés, süllyedés, stb.). Ügyelni kell arra, hogy egy meredek hegyoldalak mellett biztonságos távolságban repüljön el, nehogy kisodródjon, vagy egy erős széláramlat nekisodorja. Az emelkedési képesség meghatározza, hogy egy hegyorom biztonságos átrepüléséhez legalább milyen távolságra kell elkezdni egy emelkedést. Maximum mekkora lehet a süllyedés, hogy a repülési sebesség ne lépje túl a kritikus értéket.

Lehetséges megoldás, a fedélzetre telepített, terepkövetést biztosító eszközök alkalmazása, de ez mérete, tömege miatt nem kivitelezhető.

Mivel a fedélzet és a földi irányító pont is tartalmaz számítógépet, a megoldás a számítógépen tárolható terepet leíró adatokban és az azokat feldolgozó eljárásokban rejlik, melyeknek nincs fizikai mérete és súlya.

A pilóta nélküli repülőgépek útvonaltervezése számítógépes támogatással

A földi irányító pont számítógépét bevonva a repülési útvonal tervezésébe, a folyamat első lépése, térképről leolvasva a koordinátákat az útvonal fordulópontjainak meghatározása. A koordináták és a DDM adatai alapján a számítógép

gép létrehoz egy új repülési útvonalat, melynek függőleges vetülete megegyezik az eredetivel, de lényegesen több koordinátát is tartalmazhat, ugyanis egyenes repülési szakaszon belül a repülési irány nem, de az előírt átrepülési magasság változhat. Figyelembe véve az UAV technikai és térbeli lehetőségeit, minden koordinátahoz magassági adatokat rendel. Ez a magassági adat vagy a megkövetelt utazómagasság, de ha a terep megköveteli, akkor az akadály átrepüléséhez szükséges minimális magasság.

Az új repülési útvonalat az UAV fedélzeti számítógépébe töltve, az útvonal akár összeköttetés nélkül berepülhető, akár terepkövető módban. Csak a fel- és leszállásról kell gondoskodni. (3. ábra)



3. ábra: Az útvonal számítógéppel támogatott tervezési folyamata

Az UAV fedélzeti számítógépét bevonva a repülési útvonal tervezésébe a helyzet tovább egyszerűsödik. Elegendő közvetlen a repülési útvonal fordulópontjainak térképről leolvasott koordinátáit letölteni az UAV fedélzeti számítógépébe. A további feladatokat az UAV önállóan megoldja. Ennek a lehetőségnek további előnye, hogy bizonyos helyzetekben az UAV alkalmassá válik biztonságos repülési útvonal önálló tervezésére (például „feladat megszakítása, hazatérés a legrövidebb úton” parancs hatására).

Minkét esetben a térképelemző munka időigénye erősen lecsökken.

Egy útvonaltervező demonstrációs program bemutatása

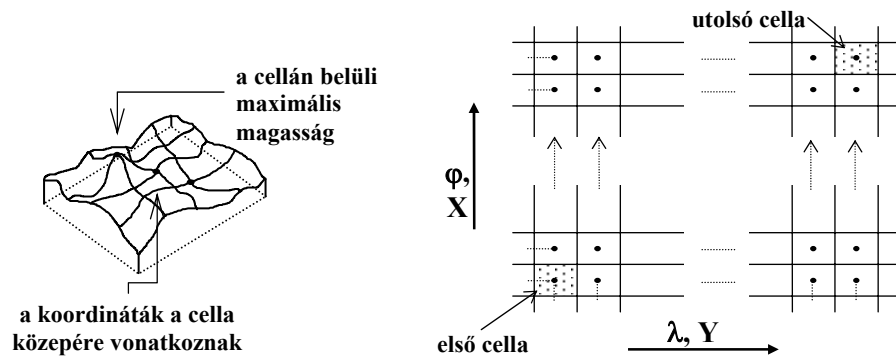
A kivitelezhetőség bemutatása érdekében készült egy számítógépes program, mely az UAV technikai paramétereit (repülési sebesség, horizontális- és vertikális biztonsági távolságtartalék, maximális emelkedés és süllyedés) figyelembevételével, Digitális Domborzat Modellt (DDM) alkalmazva előzetes

repülési terv alapján kidolgoz egy biztonságosan berepülhető útvonalat. A fő cél a megvalósíthatóság bemutatása.

A továbbiakban az alkalmazott DDM és a programban testet öltött algoritmusok, majd a futtatás eredményeinek ismertetésére kerül sor.

A raszteres állományú Digitális Domborzat Modell

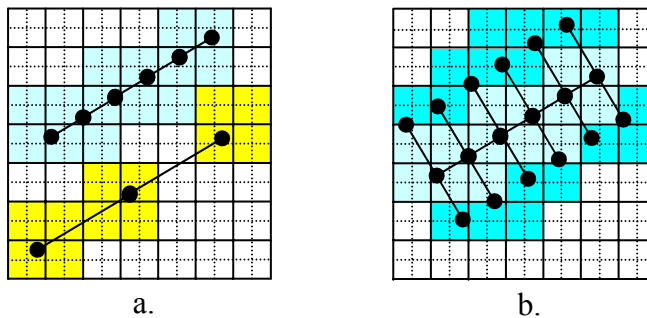
A raszteres állományú DDM a vizsgált terület magassági adatait tartalmazza, rendezett formában. Az adatbázis magassági adatainak létrehozásához a vizsgált területet lefedik egy rácshálóval. Az így létrejövő elemi területeken (cellákban) mért maximális magasságértékeket rendre hozzárendeli egy, a rácsháló méretével azonos sor- és oszlopméretű tömbhöz. Ezt a tömböt oszlop-, vagy sorfolytonosan kiolvassa, háttértárolón szekvenciálisan tárolva megkapjuk a DDM-et. Ha ismert a cellaméret, a tárolás szekvenciája és egy támpont koordinátája, a magasságmérés alapszintje, akkor a vizsgált terület adott pontjának magassága visszakereshető, vagyis koordináta alapján a koordináthoz tartozó magasságérték visszakereshető. (4. ábra)



4. ábra: A Digitális Domborzat Modell felépítése

A Digitális Domborzat Modell adatainak feldolgozása

Megfelelően választott lépésközzel a DDM-en vertikális terepmetszet készíthető. A lépésközt úgy kell megválasztani, hogy a metszetkészítés során ne legyen a metszet mentén olyan cella, melynek magassági adata nem kerül feldolgozásra. Ez információvesztéshöz vezet (alul-mintavételezés). Ennek elkerülése érdekében a program a cella élhosszánál minden esetben kisebb lépésközt választ. A metszetkészítés során az osztópont magasságát az öt körülvevő cellanégyes magasságának lineáris interpolációjával állítja elő. (5a. ábra)



5. ábra: Terepmetszet készítése DDM-en

Gondolható, hogy az elkészült terepmetszet már jó kiindulópont a megkívánt repülési magasság előállításához. A terepmetszet magassági adatát a megkívánt vertikális biztonsági távolságtartalékkal pontról-pontra növelve célt értünk, de ez elhibázott szemlélet. Példaként említve meredek hegyoldalhoz közeli útvonal esetén ez a megoldás nem biztosítja a horizontális távolságtartalékot. Tehát a terepmetszet készítésének algoritmusát úgy kell változtatni, hogy nem egy egyenes mentén, hanem egy szélesebb sávban kell a vizsgálatot elvégezni. Így a sávon belül mért maximális magassági adatot kell a megkívánt vertikális biztonsági távolságtartalékkal pontról-pontra növelni. (5b. ábra)

A pilóta nélküli repülőgép repülési paramétereinek figyelembevétele

A már eddig kidolgozott repülési útvonal további finomításához a továbbiakban az UAV technikai paramétereit kell figyelembe venni. A maximális emelkedési képességet a hajtómotor teljesítménye, a maximális süllyedés lehetőségét a repülési sebesség kézben tarthatósága, határozza meg.

Az emelkedés kézbentartása bonyolultnak tűnik, de a DDM alapján számított értékek már rendelkezésre állnak. Ki kell számítani, hogy a repülés során maximális emelkedéssel milyen magasságon érne el a következő pontot az UAV. Ennek ismeretében a számított magasságot összehasonlítva a DDM alapján tervezett magassággal eldönthető, hogy erre a megkívánt emelkedésre az UAV képes-e, vagy sem. Ha nem, akkor a következő, DDM alapján tervezett magasságra kell illeszteni egy egyenest (melynek meredeksége az emelkedés), amely visszametszéssel alkalmas annak megállapítására, hogy hol kell elkezdni az emelkedést ahhoz, hogy az adott pontot biztonságos magasságon átrepülhesse. Ennek az egyenesnek megfelelően kell korrigálni a DDM alapján tervezett magasságértékeket az emelkedés kezdeti pontja és az adott pont között. Ezt a műveletet el kell végezni, pontonként végighaladva a teljes útvonal mentén.

A süllyedés kézbentartása egyszerűbb feladat. Ki kell számítani, hogy a repülés során maximális süllyedéssel milyen magasságon érne el a következő pontot az UAV. Ennek ismeretében a számított magasságot összehasonlítva a DDM alapján tervezett magassággal eldönthető, hogy erre a megkívánt süllyedésre az UAV képes-e, vagy sem. Ha nem, akkor a következő, DDM alapján tervezett magasságot a biztonság érdekében fel kell cserélni a számított magassággal. Ezt a műveletet el kell végezni, pontonként végighaladva a teljes útvonal mentén.

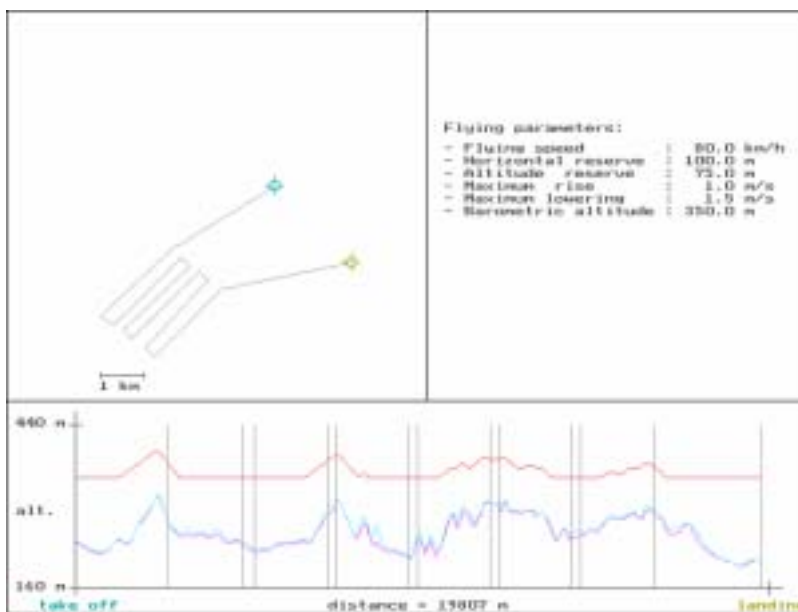
Az utolsó lépés a minimális tengerszint feletti repülési magasság figyelembe vétele. Ez oldható meg a legegyszerűbben. Végigvizsgálva a repülési útvonal pontjai feletti magasságokat, ha a minimális tengerszint feletti repülési magasság nagyobb, mint a számított, ki kell cserélni a számítottal.

További lehetőség a létrehozott repülési útvonal tömöríthetőségének vizsgálata. Mivel az eredeti fordulópontok kijelölését követően a program az útvonalat számos pontra bontja, melyeket magassági adattal is ellát, ez első megközelítésként sok adatnak tűnik. A tömörítés alapgondolata, mely nem változtatja meg a nem tömörített adatállomány információtartalmát, a posztproceszszálás. A repülési útvonal mentén a szomszédos pontok és a hozzá tartozó magasságok között elemi háromdimenziós vektorok feszíthetők ki. Ezen szomszédos elemi vektorok összevonhatók egy vektorrá, ha irányuk azonos.

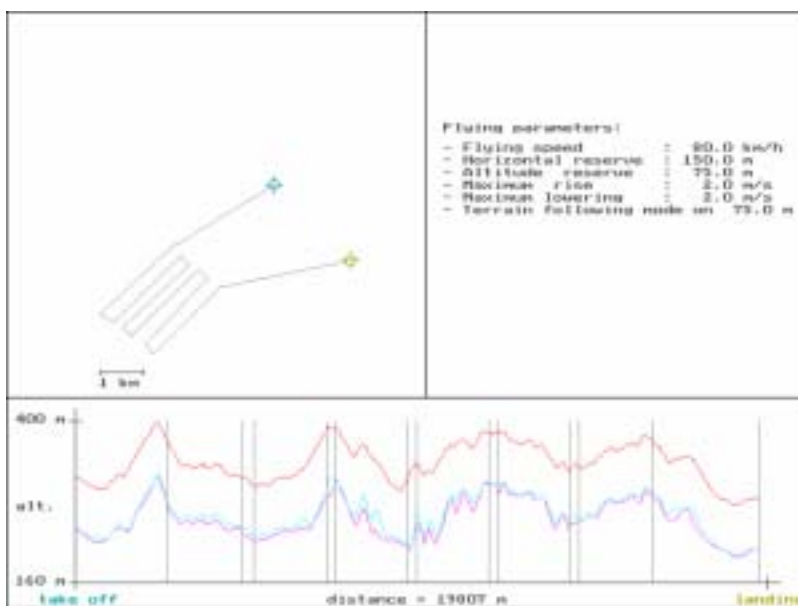
A program futtatási eredményeinek ismertetése

A továbbiakban két futtatás eredményét szeretném bemutatni. A térképről leolvasott előzetes terv mindkét esetben megegyezik. A két eredmény közötti különbség a megkövetelt minimális tengerszint feletti magasság, illetve az UAV repülési paraméterei közötti különbségnek köszönhető.

A repülési terv vízszintes vetülete a képernyőtervek bal felső felében látható. A megkövetelt minimális tengerszint feletti magasság, illetve az UAV repülési paraméterei a képernyőtervek jobb felső felében látható. A képernyőtervek alján található a terepmetszet alapján létrehozott repülési útvonal bíbor, a repülési sáv vizsgálata alapján létrehozott repülési útvonal világoskék, illetve a végeredménynek számító, UAV tulajdonságait is figyelembe vevő repülési útvonal piros színnel, melyek függőleges vetületek. (6-7. ábra)



6. ábra: Képernyőterv a repülési útvonal bemutatásához



7. ábra: Képernyőterv a repülési útvonal bemutatásához

A bemenő adatok és az eredmény formátuma

A program az előzetes repülési tervet szövegfájlként kapja meg, mely soronként EOVS koordináta-párokat tartalmaz, ahol a koordinátákat a ',' karakter választja el. A feladat, a soronként adott koordinátájú pontok feletti átrepülés. Ez az útvonal egy kb. 20 km-es előzetes repülési tervet tartalmaz. A létrehozott repülési útvonalakat a program szintén szövegfájlként hozza létre, ahol soronként a koordináta-párok kiegészülnek az adott koordináta-hoz tartozó megkívánt repülési magassággal. (8. ábra).

<u>Az input fájl felépítése:</u> 671300 , 249500 669000 , 248100 . 670100 , 247200 673000 , 247800	<u>Az output fájl felépítése:</u> 671300 , 249500,317 671257 , 249474,317 . 672758 , 247750,285 672807 , 247760,286
--	---

8. ábra: A fájlok tartalmi felépítése

Az elért eredmények értékelése

Összegzőképpen a számítógép alkalmazásával elkerülhetővé válik a folyamatos összeköttetés igénye, leegyszerűsödhet a repülőgép irányítása. Ez az útvonal berepülésének félautomata, automata üzemmódját jelentheti (nem folyamatos irányítással, hanem csak beavatkozással, esetleg beavatkozás nélkül) akár terepkövető módban is. A Digitális Domborzat Modell alkalmazásával lehetővé válik a repülési útvonalak gyors tervezése, a repülés biztonságának növelése, a repülőgép repülési tulajdonságait szem előtt tartva.

Felhasznált irodalom

- [1] BENKŐ TIBORNÉ – BENKŐ LÁSZLÓ – TÓTH BERTALAN – VARGA BALÁZS,
Programozunk Turbo Pascal Nyelven, ComputerBooks Kiadói Kft.,
Budapest, 1999/2000
- [2] DR. DETREKŐI ÁKOS – DR. SZABÓ GYÖRGY,
Bevezetés a térinformatikába, Nemzet Tankönyvkiadó, Budapest, 1995
- [3] ZENTAI LÁSZLÓ,
Számítógépes térképészet, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 2000
- [4] MICROPILOT UAV AUTOPILOTS HOMEPAGE,
<http://www.micropilot.com/>
- [5] UAV FLIGHT SYSTEMS HOMEPAGE,
<http://www.uavflight.com/>