

ZRÍNYI MIKLÓS
NEMZETVÉDELMI EGYETEM
Katonai Műszaki Doktori Iskola

Molnár András

**A polgári és katonai robotjárművek fejlesztésében
alkalmazott új eljárások és technikai megoldások**

**című doktori (PhD) értekezésnek szerzői ismertetése és
hivatalos bírálatai**

Budapest, 2005. szeptember 1.

Tartalomjegyzék

<i>Bevezetés</i>	3
<i>Kutatói hipotézisek</i>	5
<i>A kutatás főbb célkitűzései</i>	5
<i>Kutatási módszerek</i>	6
<i>Kutatómunkám keretei, értekezésem felépítése</i>	8
<i>Új tudományos eredmények</i>	9
<i>Összefoglalás</i>	10
<i>Javaslatok, ajánlások</i>	11
<i>Introduction</i>	12
<i>Research hypotheses</i>	14
<i>The main aims of the research</i>	15
<i>Methods of research</i>	15
<i>The frames of my research and structure of dissertation</i>	17
<i>New academic results</i>	18
<i>Conclusions</i>	20
<i>Proposals and recommendations</i>	20
<i>Szakmai önéletrajz</i>	21
<i>Publikációim</i>	22

Bevezetés

Az intelligens robotok kutatása nagy erővel folyik mind a polgári kutatások, mind a hadi kutatások terén. Már a II. Világháborúban Németország sorozatban gyártott a kor technikai színvonalának megfelelő robotrepülőgépeket (V1). A robotok kutatását és alkalmazását feltérképezve láthatóvá válik, hogy sok esetben már sikerrel alkalmaztak ilyen eszközöket. Ezek közös jellemzője, hogy működtetésük távolról történik (Góliát), így a kezelő nincs közvetlen életveszélyben.

Békeidőben gyakori feladat katasztrófa helyszínek feltérképezése, élet- és vagyonmentés. Az elmúlt időszakban, több esetben volt példa robotok vagy félautomata távirányítású eszközök bevetésére.

A számítástechnika rohamos fejlődésének köszönhetően várható, hogy a közeljövőben a robotika témakörében jelentős előrelépések történnek. Ennek ma mind műszaki, mind elméleti alapja adott.

Napjainkban ugyanakkor jól látható, hogy a technikai fejlődés nem egyedüli feltétele a roboteszközök elterjedésének. Minden robotfejlesztéssel és üzemeltetéssel foglalkozó ország egyik jelentős problémája a már meglévő eszközök üzemeltetésének jogi és biztonsági kérdéseinek tisztázása!

Az üzemeltetési biztonság kérdése szembe tünően a robotrepülőgépek¹ esetében a legégetőbb, bár hasonló problémák fogalmazódnak meg egyéb, távirányított, illetve autonóm eszközök esetében is.

A robotrepülőgépek üzemeltetésével kapcsolatosan az alábbi megoldandó kérdések kerültek előtérbe:

- Az üzemeltetés során bekövetkező esetleges rendszer**hiba esetén okozott** másodlagos **károk** (harmadik személynek okozott anyagi és személyi sérülések) **kezelése, megelőzése.**
- **Nem pilóta által vezetett légi járművek üzemeltetése szabad** (nem speciálisan korlátozott) **légterekben.**

Az esetlegesen okozott károk, illetve sérülések csökkentésének érdekében jelen gyakorlat az üzemeltetési terület korlátozása. A korlátozás azonban éppen a pilóta nélküli repülőgépek egyik jelentős előnyétől fosztja meg a felhasználót, mivel továbbra sem vethetők be ilyen eszközök veszélyes üzemek, iparterületek vagy sűrűn lakott települések felett. **A pilóta nélküli**

¹ Az értekezésben a pilóta nélküli repülőgép, a robotrepülőgép, valamint az UAV (Unmanned Aerial Vehicle), mint szinonim kifejezések jelennek meg.

repülőgépekkel okozott károk kockázatának jelentős csökkentése a kutatások egyik kiemelt területe.

A légtérhasználat kérdése szintén megoldatlan feladat. A nagy hatótávolságú robotrepülőgépek esetében számításba kell venni, hogy a jármű a polgári repülésben használt különféle besorolású (ellenőrzött és nem ellenőrzött) légtereket is használhatja.

Az ellenőrzött légterek igénybevételéhez jelen pillanatban a robotrepülőgépnek rendelkeznie kell válasz-jeladóval (transzponder), valamint a légügyi hatóságoknál engedélyezett repülési tervvel. Ugyanakkor nem tisztázott, hogy a légi közlekedést felügyelő szerv által kiadott utasításokat a robotrepülőgép miként hajtja végre, illetve az utasítás „tudomásul vétele” miként történhet.

A nem ellenőrzött légtér használata során a helyzet súlyosabb, mivel a vonatkozó szabályok értelmében a jármű pilótája köteles a környezete forgalmát figyelemmel kísérni és a mindenkori helyzetnek megfelelően változtatni a repülési paramétereken. Ebben az esetben **alapvető probléma az, hogy egy pilóta nem tudhatja, hogy az általa használt légtérben nem pilóta által vezetett légi járművel találkozott.**

Az üzemeltetési problémák megoldására nemzetközi szakmai fórumok próbálnak választ adni.

A fejlesztéssel foglalkozó országok, illetve szervezetek felé **elvárás az igényeket legjobban kielégítő** prototípusok **gyors kifejlesztése** és hatékony tesztelése. A fejlesztés során szükség van olyan új építési eljárások alkalmazására, melyek biztosítják a prototípus olcsó és gyors előállíthatóságát. Sok fejlesztő szervezet rugalmatlanságát az okozza, hogy a „hagyományos” repülőgépgyártásból átvett építési technológia magas költsége nem teszi lehetővé nagyszámú, működőképes prototípus megépítését. Ezen a területen **jelentős változást hozhat az alacsony költségű, gyors és rugalmas prototípus gyártási technológiák bevezetése.**

A harci repülőgépek számítástechnikai rendszerei egyre fejlettebbek. Ezek a rendszerek szinte minden hagyományos repülőgép vezetési feladatot elvégeznek, így a pilótának több ideje marad a repülési feladat végrehajtásának elvégzésére (célok felderítése, megsemmisítése, egyéb harci feladatok ellátása). A repülőgépek automatizálása eljutott arra a szintre, hogy a pilóta személye gátolja a repülőgép képességeinek maradéktalan kihasználhatóságát (a repülőgép szerkezete nagyobb terheléseket visel el, mint az emberi szervezet). **A nemzetközi, valamint a hazai** kutatási és fejlesztési **trendek azt mutatják, hogy a közeljövőben a hagyományos (pilóta által vezetett) repülőgépeket robotrepülőgépek fogják leváltani.**

Kutatói hipotézisek

Kutatásaim alapvetően az autonóm és félautonóm eszközök felé irányultak. A rendelkezésemre álló idő és terjedelmi korlátok miatt, természetesen a teljes terület elemzését nem vállalhattam fel. Kutatási tevékenységemet a pilóta nélküli repülőgépek témakörére összpontosítottam, de igyekeztem ajánlásokat tenni olyan megoldásokra, melyek egységesen alkalmazhatók egyéb (pl.: vízi és szárazföldi) eszközök vezérlésére is.

Kutatói, fejlesztői munkámat az alábbi hipotéziseim határozták meg:

- A napjainkban rendszerben álló, vagy rendszerbeállítás előtt álló robotrepülőgépek beszerzési ára igen magas, ugyanakkor felhasználási területük jelentősen típus specifikus. **A fejlesztési irányelvek és módszerek megfelelő kidolgozása csökkenti a fejlesztés során szükséges technológiai költségeket.** Ennek következtében a kifejlesztett robotrepülőgépek indulási ára is alacsonyabb lehet, lehetőséget biztosítva a szélesebb körben történő felhasználásukra.
- A modern szabályzó rendszerek (robotrendszerek) igen komplex, a kor szabályzástechnikai irányelveit tükröző kezelése megköveteli a magasan kvalifikált kezelőszemélyzetet. Ugyanakkor a haderő számos területén igény lenne olcsó és egyszerűen kezelhető robotrepülőre, mely segítségével egy közepesen képzett személyzet, vagy akár egyetlen ember is képes helyi feladatokat (pl.: közeli felderítések) ellátni. **A „felhasználói, alkalmazói” szemléletű vezérlőrendszer kidolgozása gyorsítja a robotrepülőgépek gyakorlati felhasználását.** Mindez ugyanakkor eleget tesz a repülőgép vezetéséhez szükséges feltételeknek, miközben a hagyományos rendszerekkel ellentétben kezelői felülete egyszerű, a beviteli adatok rendszere, szerkezete nem technikai, hanem felhasználói szemléletet tükröz.
- A robotrepülőgépek üzemeltetése kockázatokkal jár. Az esetleges meghibásodások során okozott kár az igénybe vett térségtől (a robotrepülőgép becsapódása veszélyes ipar- vagy gyár-, illetve sűrűn lakott területekre stb.), valamint a repülőgép méreteitől, felépítésétől függ. **Speciális hajtáslánc alkalmazása csökkenti a robotrepülőök üzemeltetési kockázatát.**

A kutatás főbb célkitűzései

A kutatási munkám átláthatósága, valamint könnyebb kezelhetősége érdekében meghatároztam azokat a főbb célokat, melyeket szeretnék elérni. Noha a célok meghatározása nem determinálja azok elérését, mégis a kutatás során számos esetben segített meghatároznom munkám pillanatnyi állapotát, előrehaladtának mértékét.

Tudományos munkámban az alábbi célokat jelöltem meg:

- Meghatározni azokat a mechanikai, aerodinamikai és repüléstechnikai összefüggéseket, melyek ismeretében a legmegfelelőbb robotrepülő konstrukciók megtervezése lehetséges.
- Meghatározni azokat a robotrepülőgépek szabályzóköreiben alkalmazható átviteli függvényeket, melyek jól illeszkednek a korszerű számítástechnikai képességekhez (kapacitásokhoz), ugyanakkor a szabályzás szempontjából megfelelő karakterisztikával rendelkeznek.
- Megtervezni és megvalósítani egy komplex robotirányítású egységet, mely rugalmasan alkalmazható különféle – kisméretű – földi és légi járművekben.
- Meghatározni egy olyan robotrepülőgép építési technológiát, mely segítségével olcsón és gyorsan lehet kísérleti repülőgépeket készíteni, így megkönnyíteni azok kutatását, fejlesztését.
- Megtervezni és megépíteni olyan, pilóta nélküli repülőgépet, mely meghibásodása esetén sem okoz jelentős anyagi kárt, vagy személyi sérülést.
- Az általam meghatározott elvek és összefüggések igazolása céljából megépíteni néhány demonstrációs célú pilóta nélküli repülőgépet, melyek segítségével lehetőség nyílik a különféle újszerű képességek (pl.: költségkímélő légi felderítés, gyors elemzés, küldemények nagypontosságú célba juttatása stb.) bemutatására.

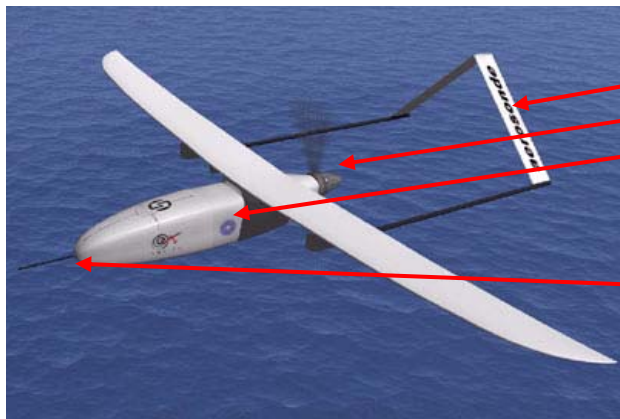
Kutatási módszerek

A kitűzött kutatási céljaim elérése érdekében az alábbi, főbb kutatási módszereket alkalmaztam:

- **Tanulmányi tervet állítottam össze** úgy, hogy a kötelező és választott tantárgyak, kutatói szemináriumok a lehető legjobban támogassák tudományos célkitűzéseim elérését.
- **Tanulmányoztam** a témával kapcsolatos külföldi és hazai szakirodalmak vonatkozó fejezeteit, a megjelent kiadványokat, tanulmányokat, valamint a legfrissebb kutatások eredményeit, ajánlásait.
- **Részt vettem nemzetközi és hazai szakmai fórumokon, konferenciákon**, ahol előadásokat tartottam, emellett tapasztalatokat gyűjtöttem, eszmecserét folytattam más kutatókkal, fejlesztőkkel.
- **Ismereteket szereztem** más államok robotrepülőekkel kapcsolatos tapasztalatairól, elméleti és gyakorlati eredményeiről.
- **Konzultáltam** potenciális hazai felhasználókkal, felmértem, összegeztem igényeiket és elképzeléseiket.

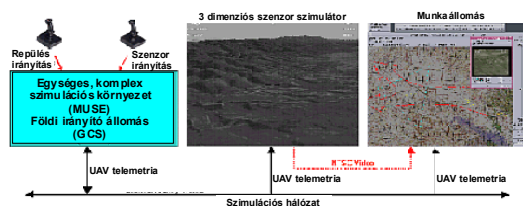
- **Konzultációkat kezdeményeztem** a téma szűkebb szakterületeit képviselő kutatókkal, szakemberekkel.
- **Célirányos kereséseket folytattam** könyvtárakban, valamint számítógépes hálózatokon fellelhető adatbázisokban.
- **Rendszereztem** eddigi pályafutásom alatt szerzett tudásomat és aktív pilótaként szerzett tapasztalataimat.
- **Szimulációs modellezést végeztem**, ezen adatok alapján elkészíthettem kísérleti eszközeimet.
- **Kísérleteket folytattam** le egy-egy részfeladat eredményeinek igazolása, pontosítása érdekében.

Kutatási témám egy komplex rendszert ölel át. Az egyes alrendszerek kifejlesztése során a teljes rendszer ismerete elengedhetetlenül szükséges. Az 1. ábra a robotrepülő rendszer vázlatos részeit szemlélteti. Ezen az ábrán látható főbb részek megnevezései illeszkednek a szakirodalomban, valamint a dolgozatomban szereplő kifejezésekhez, megfogalmazásokhoz.



A robotrepülőgép általános felépítése

- Sárkány
- Hajtómű
- Fedélzeti elektronika
 - Repülésbiztosító
 - Navigációs
 - Kommunikációs
- Telemetria
- Földi irányítás
 - Repülőgép irányító (pilóta)
 - Felderítő, kiértékelő
 - Repülésirányító



1. ábra: A robotrepülőgép általános felépítése

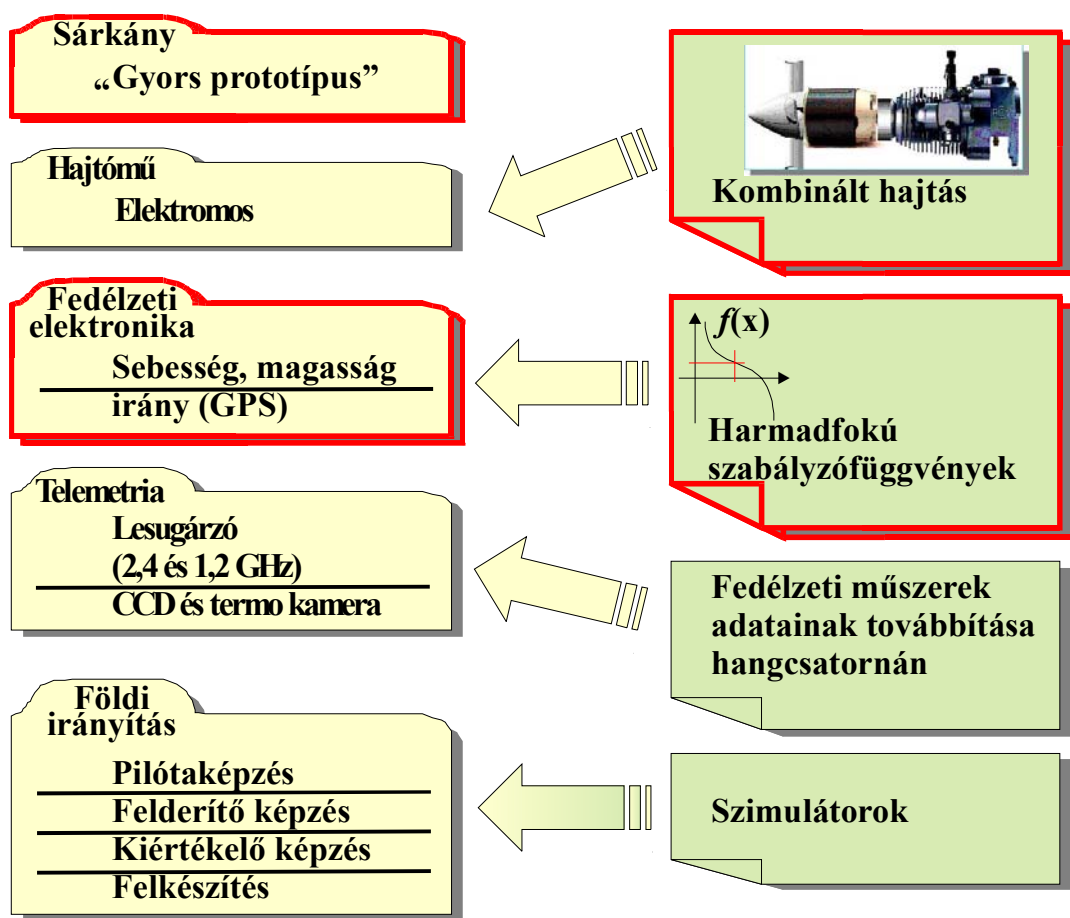
A 2. ábra áttekintést nyújt azokról a területekről, melyekkel részletesen foglalkoztam. Az ábrában **piros kerettel jelöltem** azokat a területeket, melyekben kutatásaim során **új tudományos eredményeket** alkottam.

Kutatásaim részeredményeit szakmai kiadványokban rendszeresen publikáltam. Nemzetközi és hazai szakmai fórumokon és konferenciákon rendszeresen tartottam előadásokat

az általam végzett munkákról és azok eredményeiről. Előadásaim és publikációim visszhangjait, reflexióit felhasználtam az eredményeim értékelése során.

Kutatómunkám keretei, értekezésem felépítése

Értekezésem a terjedelem korlátozása következtében azokkal a legfontosabb elvek és összefüggések ismertetésével foglalkozik, melyek feltétlenül szükségesek a következtetésem egyértelmű meghatározásához. Az általam választott téma számos olyan kapcsolódó területet érint, melyek akár önálló értekezés tárgyát is képezhetnék. A korlátozott terjedelem miatt – noha számos témával behatóan foglalkoztam – egyes területekre csak utalni tudok.



2. ábra: A kutatási tevékenységem főbb területei, kiemelve az új tudományos eredményeim területeit

Értekezésemet négy fő fejezetre tagoltam.

Az első fejezetben bemutatom a modern pilóta nélküli repülőgépek főbb jellemzőit, valamint a fejlesztésükhöz és üzemeltetésükhöz szükséges háttérket. Az ismertetés célja, hogy rámutassak azokra a fejlesztési és kutatási területekre, melyek napjainkban a téma ismert határát képezik.

A második fejezetben részletesen **elemzem a robotrepülőgépek tervezésének elméleti kérdéseit. Gyors építési technológiát dolgozok ki robotrepülőgép prototípusok készítésére.** Az elemzés célja, hogy megtaláljam azokat a fő aerodinamikai jellemzőket és prototípusgyártási eljárásokat, melyek biztosítják a robotrepülőkhöz tervezett repülésstabilizáló és útvonalkövető elektronika képességeihez leginkább illeszkedő sárkányszerkezetet.

A harmadik fejezetben kísérleti **mérésekkel határozom meg a fedélzeti robotrendszerhez használt GPS készülékek pontosságát, megbízhatóságát, illetve felhasználásának feltételeit.** A kísérletek célja, hogy megtervezzem és elkészítsem a robotpilóta rendszert.

A negyedik fejezetben bemutatom az általam kifejlesztett robotrendszert. Kísérletekkel igazolom a rendszer egyes egységeinek működését, valamint bemutatom a fejlesztés várható további menetét.

Értekezésből megírásával kutató tevékenységem nem ér véget. Kutatómunkám során számos olyan területet találtam, ahol a további vizsgálatok, kísérletek újabb eredményeket szülhetnek. A robotrepülőök gyakorlati alkalmazása napjainkban egyre erősödő tendencia, ezért munkámat tovább folytatva keresem azokat az utakat, melyek elősegítik a hazai robotrepülőgép fejlesztést, gyártást és felhasználást.

Új tudományos eredmények

Kutatómunkám során a célkitűzésekben megfogalmazottaknak sikerült eleget tennem.

Célkitűzéseimnek megfelelően rendszereztem azokat az ismereteket, melyek elengedhetetlenül szükségesek a kisméretű repülőszerkezetek tervezése szempontjából.

Rámutattam repüléstechnikai szempontból lényeges jellemzők (pl.: átesési hajlam, stabilitás, kormányozhatóság stb.) fizikai okaira, illetve befolyásolásuk lehetséges módozataira.

Kidolgoztam, és kutatásaim során alkalmaztam, egy olcsó és gyors gyártást biztosító repülőgép építési technológiát, mely segítségével, kedvező hatékonysággal tudtam a kísérleteimet elvégezni.

Elkészítettem egy repülőgépek autonóm vezérlését biztosító robotpilóta egységet, mely jellemzői összhangban vannak a kutatási célkitűzésben megfogalmazott szempontokkal.

Számos kísérlettel igazoltam, hogy robotrendszerem alkalmas légi és szárazföldi járművek autonóm vezérlésére.

Kutató és fejlesztő munkám során az alábbi eredményeimet tekintem új tudományos eredményeknek:

- **Megalkottam, és kísérletekkel igazoltam, egy olyan univerzális vezérlőegységet, amely egyaránt képes szárazföldi, vízi és légi robotjárművek autonóm irányítására. Az egység további előnye a moduláris felépítés, melyhez szabványos illesztő felületeken keresztül tetszőleges további kiegészítő rendszerek (légsebességmérő, magasságmérő, inerciális stabilizátorok gyorsulásmérők, gyroszkópok stb.) kapcsolhatók.**
- **Megalkottam, és kísérletekkel igazoltam, olyan harmadfokú szabályzófüggvényeket ((6), (7), (8)), melyek segítségével valósídejú vezérlések valósíthatók meg. Az általam meghatározott függvények előnye, hogy nem tartalmaznak függvényösszetételeket, értelmezési tartományuk folytonos, így a hagyományos megoldásokhoz képest nagyobb biztonsággal alkalmazhatók. Az általam alkalmazott harmadfokú szabályzófüggvények csökkentik a rendszer rejtett hibáinak valószínűségét, ezáltal biztonságosabb, megbízhatóbb szabályzók alkothatók meg.**
- **Kidolgoztam olyan „gyors prototípus” építési technológiát, mellyel az ismert eljárásokhoz képest hatékonyabban lehet kísérleti robotrepülőtesteket építeni, illetve módosítani. Az általam javasolt építési technológia költség-hatékony és előnyösen alkalmazható minden olyan fejlesztés során, ahol több kísérleti minta összehasonlító vizsgálatát kell elvégezni.**
- **Meghatároztam, és kísérletekkel igazoltam, azokat az elveket, amelyek alkalmazásával jelentősen csökkenthetőek a meghibásodott robotrepülőgépek által okozott anyagi és személyi károk.**

Összefoglalás

Kutatásaim során elért eredményeim igazolták, hogy kutatási hipotéziseim helytállóak és aktuálisak voltak. Mind szakmai fórumokon, mind pedig, potenciális felhasználókkal történt eszmecserék folyamán világosan kiderült, hogy a kisméretű robotrepülőgépeknek gyakorlati hasznosítási lehetőségeik vannak. Demonstrációs céllal végzett tűzoltási, illetve tűz terjedési megfigyeléseket végeztem tűzoltók szakmai irányítása alatt. A kísérletek tapasztalatait mind a

kísérleteket felügyelő parancsnokság, mind pedig, további szakmai fórumok is sikeresnek és perspektivikusnak ítélték meg.

A leírtak értelmében kutatási munkámat eredményesnek ítélem meg.

Javaslatok, ajánlások

Munkám során megfogalmazódtak kutatási területemet érintő, de idő- és terjedelmi korlát miatt abban nem szereplő lehetőségek, megoldási javaslatok.

1. **Javaslom egy hazai kutató-fejlesztő központ létrehozását**, melynek feladata kisméretű robotrepülőgépek kifejlesztése. A fejlesztés irányelveit a potenciális felhasználók, mint például a Magyar Honvédség, a Tűzoltóság, a Katasztrófavédelem és egyéb számos, stratégiaileg fontos vállalat, mint például az Elektromos Művek, a vízügyi szervek stb. kell, hogy meghatározzák.
2. **Javaslom egy robotrepülő szolgáltató egység létrehozását**, melynek feladata az általa üzemeltetett robotrepülőgépekkel történő, megrendelői igényeket biztosító szolgáltatás. Ilyen **szolgáltatás lehet**, például árvízveszélyes időszakok esetén történő **védőgátak** folyamatos **légi megfigyelése**, nagykiterjedésű tüzesetek során a **tüzek terjedésének, oltásának légi megfigyelése** stb.
3. **Javaslom az értekezés „Kísérleti robotrepülőgép sárkányszerkezetének gazdaságos kialakítása” című fejezetének oktatási segédanyagként való alkalmazását**, különös tekintettel a majdani robotrepülő személyzetének kiképzése esetében.

Szakmai önéletrajz

Személyi adatok

Születési hely: Moszkva, Oroszország
Születési idő: 1967. május 07.
Budapest, 1066. Dessewffy u. 47. V/5.
Tel.: (06-1) 3320-826
Mobil: (06)-20-997-2990

Szakképzettség

- Jelenleg a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola doktorandusz hallgatója vagyok
- Programtervező matematikus 2001, Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar
- Műszaki informatikus 1999, Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, Informatika szak
Fachhochschule Wilhelmsahven, Feinvertechnik, Deutschland 1 szemeszter 1999
- Mérnök-tanár 1999, Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, Tanári szak
- Vegyésztechnikus 1986, Petrik Lajos Vegyipari Technikum

Munkahelyek

2002-2001, Budapesti Műszaki Főiskola, Neumann János Informatikai Főiskolai Kar, adjunktus, Oktató
2001-2002, Budapesti Műszaki Főiskola, Neumann János Informatikai Főiskolai Kar, tanársegéd, Oktató
1999-2001, Budapesti Műszaki Főiskola, Neumann János Informatikai Főiskolai Kar, intézeti mérnök, Oktató
1999-2001, MEDISO Kft., fejlesztőmérnök (orvos-diagnosztikai eszközök -gamma kamerák- fejlesztése)
1992-1995, Epigráf Stúdió Kft., ügyvezető (számítógépes tanfolyamok felnőtteknek)
1991-1992, AustroPress Kft., ügyvezető
1986-1991, Budapesti Műszaki Egyetem, Kémiai Technológia Tanszék, vegyésztechnikus (vegyész hallgatók laborgyakorlatainak levezetése)

Nyelvismeret

Orosz: Államilag elismert nyelvvizsga, „C” középfok, biz. Szám: 056901, műszaki tolmács
Angol: Államilag elismert nyelvvizsga, „C” alafok, biz. Szám: 432939

Tudományos tevékenység

Jelenleg tesztelés alatt áll egy általam kifejlesztett fedélzeti navigációs és repülésstabilizáló rendszer. A rendszere alapvető feladata, hogy a földi előkészítés során betáplált útvonalon a repülőgép automatikusan, külső beavatkozás nélkül képes legyen végigrepülni. A le és felszállást távirányítással pilóta végzi.

2001 szeptembere óta foglalkozom robotrepülőgépek tervezési problémáinak gyakorlati megoldásaival. Tevékenységem főbb területei:

- repülő sárkányszerkezetek fejlesztése,
- szárnyak aerodinamikai modellezése,
- fedélzeti navigációs és stabilizáló rendszer fejlesztése,
- repülőgép hajtások vizsgálata (belsőégésű motorok, elektromotorok, kombinált hajtások),
- telemetriai rendszerek vizsgálata, különös tekintettel a valós idejű videó átvitelre,

- különleges vezetési technikák vizsgálata (külső nézeti vezetés, fedélzeti kamerakép alapján történő vezetés, virtuális műszerek alapján történő vezetés).

Munkámat nagymértékben elősegíti az aktív repülőmodellező, valamint ultrakönnnyű repülőgép vezetői ismeretem.

1995 szeptemberétől foglalkoztam intelligens rendszerekkel. Fő kutatási területeim az alábbiak voltak:

- gépi járás,
- gépi látás,
- navigáció ismert és ismeretlen terepeken,
- robotok párhuzamos processzálású vezérlése,
- valós idejű képfeldolgozás.

Publikációim

Hivatkozások publikációimra

- IC13. Berns, K., (1999) Technical Task 3. Operational Environment - Specification for Robots, CLAWAR'99, Portsmouth, (Virk, Randall, Howard (Eds.)), Professional Engineering Publishing Limited, London, pp. 763-772, 1999.
- IC12. Greguss, P., Vaughan, A. H. Development and Optimization of Machine Vision Systems Using a Panoramic Annular Lens, ICAR 1999, The 9th International Conference on Advanced Robotics, Tokyo, 26. 10. 1999.
- IC12. I. Nagy, P. Baranyi, P. Greguss, P. Korondi, H. Hashimoto, (2000)"Vector Field Based Guiding Model for Mobile Robots as an Intelligent Transport System, Proceedings of EPE-PEMC2000-9th Power Electronics and Motion Control International Conference, Kosice, Slovak Republic 5-7 Septemeber 2000 Vol. 1, pp. 7-52-57.
- IC12. Nagy, P. Baranyi, P. Greguss, P. Korondi, H. Hashimoto (2000)"Extension of Potential Based Guiding to Vector Field Model" OPTIM 2000, Brasov, May 11-12, 2000, vol. 2. Pp. 545-550.
- IC12. P. Szemes, Z. Föhrécz, B. Magyar, P. Korondi, H. Hashimoto (2001)"A General Concept of the Internet-based Telemanipulation" In Proc. of 10th International Conference on Advanced Robotics ICAR 2001 (Ed. A. K. Bejczy, K. Kozłowski, I. J. Rudas) 22-25 August, 2001, Budapest, pp. 363-368.

Nemzetközi konferenciák proceedings-eiben megjelent közlemények:

- IC1. Z. Vámosy, B. Fekete, L. Nyitrai, **A., Molnár** (2004), Ultrasonic Based Device for Blind and Visually Impaired People, Proc. 13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, (Ed: Z., Kolibal) Brno, ISBN 80-7204-341-2, pp 405-407.
- IC2. **A. Molnár**, Z. Vámosy (2004), Navigation of a GPS Based Robot Vehicle, Proc. 13th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, (Ed: Z., Kolibal) Brno, ISBN 80-7204-341-2, pp 408-413.
- IC3. Z. Vámosy, **A. Molnar**, A. Balázs, B. Pécskai, B. Supola (2004), FOBOT, the Hexapod Walking robot, *Proc. 35nd International on Robotics – ISR 2004* (Paris, March 23-26, 2004), Paris – Nord Villepinte, France Abstract: pp. 15-16 and Full text, CD: TU 21-4 (6 page).
- IC4. I. Makkay, **A. Molnár**, A. Turoczy (2003), Stabilization concepts of UAVs, in: UAV-NET Meeting #8, (Belgium, September 22-23 2003) Belgium, Sonaca.
- IC5. I. Makkay, L. Ványa, **A. Molnár**, L. Kovács (2003), Advanced electronics for helicopter and rigid wing UAVs, UAV-NET Meeting #7, (Paris, June 16-17 2003) France, Paris.
- IC6. Makkay I., Haig Z., Vass S., Vanya L., Kovacs L., **Molnar A.**, Gacser Z. (2003), New Perspectives for Guidance and Propulsion Systems for UAVs, North Atlantic Treaty Organization, Applied Vehicle Technology Panel, (Brussels, April, 07-10, 2003) Brussels, Belgium.
- IC7. **Molnár, A.**, Vámosy, Z. (2001), Experimental Biped Robot Using SMA Actuators, *Proc. 4nd International Conference on Climbing and Walking Robots – CLAWAR 2001*, . Karlsruhe, Deutschland (Eds. K. Berns and R. Dillmann) pp. 811-818.
- IC8. **Molnár, A.** Vámosy, Z. (2001) Navigation of Mobile Robot Using PAL Optic, Proc. 10th International Conference on Advanced Robotics ICAR 2001, Workshop on Omnidirectional Vision (Ed. Pal Greguss), 22-25 August, 2001, Budapest, pp. 89-92.

- IC9. **Molnár, A.**, (2001). Decision Making Systems in Forced Situations, *Proc 10th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD'01 (Vienna, May 16-18, 2001)*, Vienna, Austria, (Ed. P. Kopacek), Session : FA 3 – Various, Ref. No.:RD-46.
- IC10. **Molnár, A.**, Brünner, R., Varga, L., (2001). Vehicle Controller Agents and their Computer Aided Simulation *Proc. 10th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD'01 (Vienna, May 16-18, 2001)*, Vienna, Austria, (Ed. P. Kopacek), Session : FM 2 – Simulation, Ref. No.:RD-53.
- IC11. **Molnár, A.**, Brünner, R., Varga, L., (2000). Parallel Picture Processing for an Intelligent Car Navigation System, *Proc. The 11th INTERNATIONAL DAAAM SYMPOSIUM 2000*, Opatija, Croatia. (B. Katalinic (Ed.)), DAAAM International, pp.317-318.
- IC12. Vámosy, Z., **Molnár, A.** (1999), Obstacle Avoidance for a CLAWAR Machine, *Proc 2nd International Symposium on Climbing and Walking Robots - CLAWAR'99*, Portsmouth, England, (G. Virk (Ed.)) pp. 597-603.
- IC13. Vámosy, Z., **Molnár, A.**, Brünner, R., Varga, L., (1998). EXPLORADORES II., the Four-Legged Mobile Robot, *Proc International Symposium on Climbing and Walking Robots - CLAWAR'98*, Brussel, Belgium, (Y. Baudoin (Ed.)) BSMEE. pp. 41-45.
- IC14. Vámosy, Z., **Molnár, A.**, Brünner, R., Varga, L., (1998). Path Planning Methods for a Quadruped Mobile Robot, *Proc. DAAAM'98*, Cluj-Napoca, Romania. (B. Katalinic (Ed.)), DAAAM International, pp. 483-484.
- IC15. Brünner, R., **Molnár, A.**, Varga, L., Vámosy, Z. (1998). Exploradores, Quadruped Robot, *Proc. 7th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD'98 Bratislava, Slovakia. (Slovak Academy of Sciences)*, (K. Dobrovodský (Ed.)), pp. 215 - 220.

Hazai folyóiratban megjelent közlemény:

1. Vámosy, Z., **Molnár, A.** (1999), Exploradores, négy lábú lépegető robot készítése, *Híradástechnika*, I. évfolyam, 1999/9 pp. 50-76.

Hazai konferenciák proceedings-eiben megjelent közlemények:

- NC1. Z. Vámosy, **A. Molnár**, P. Hirschberg, Á. Tóth, B. Máthé (2004), Mobil Robot Navigation Projects at BMF NIK, on: International Conference in Memoriam John von Neumann, (Hungary, December 12 2004) Hungary, Debrecen.
- NC2. **Molnár A.** (2003). New Perspectives of UAV Building and Propulsion in case of Engine Failure in: PAMM-PC 141 conference 2003 május 23. Balatonalmádi.
- NC3. **Molnár, A.** (2002). Unmanned Aerial Vehicles with Electric Propulsion, Robothadviselés (Robot Warfare), Nemzetközi Konferencia és Kiállítás, 2002, november 27-28, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest
- NC4. **Molnár, A.** (2002). Elektromos hajtású robotrepülőgépek, Haditechnika 2002 Nemzetközi Szimpózium, 2002. szeptember 16-17, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Főiskolai Kar, Budapest, ISSN: 1416-1443, Bolyai Szemle különszám II. pp. 21-33.
- NC5. **Molnár, A.** (2002). Napelemes Robotok, *Proc 7th International Symposium on Electronics and Automation HUNGELEKTRO – HUNGAMAT 2002*, ((Ed. M., Lambert)). CD.: Napelemes Robotok (p. 6). Budapest
- NC6. **Molnár, A.** (2001). KUTATÓ ROBOTOK, Hadtudományi tájékoztató 2001/7. szám, Robothadviselés (Robot Warfare), Nemzetközi Konferencia és Kiállítás, 2001, április 24-25, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, pp.82-89.
- NC7. **Molnár, A.** (2001). Intelligens, Önfenntartó Robot, *Proc. 6th International Symposium on Electronics and Automation HUNGELEKTRO – HUNGAMAT 2001*, ((Ed. M., Lambert)) Budapest. pp. 121-127.
- NC8. **Molnár, A.** (2000). "KUTYA" Lépegető robot, *Proc. 5th International Symposium on Electronics and Automation HUNGELEKTRO – HUNGAMAT 2000*, ((Ed. M., Lambert)) Budapest. pp. 85-91.
- NC9. **Molnár, A.**, Vámosy, Z. (1999), Hatlábú oktatórobot, Banki Donát Műszaki Főiskola Jubileumi Ülésszaka, *Proc. the Jubilee International Conference*, (Ed. Rudas). pp. 399-400.
- NC10. Vámosy, Z., **Molnár, A.**, Brünner, R., Varga, L., (1999). Négy lábú lépegető robot fejlesztésének eredményei, különös tekintettel a szenzor alapú vezérlésre, *Proc. 4th International Symposium on Electronics and Automation HUNGELEKTRO - HUNGAMAT'99*, ((Ed. M., Lambert)) Budapest. pp. 113-118.
- NC11. Brünner, R., **Molnár, A.**, Varga, L., Vámosy, Z. (1998). Exploradores, négy lábú robot, In: *XV. Centenáriumi Tudományos Ülésszak KKMf*, Vol. Szabályozástechnika-Robottechnika, Budapest . pp. 36-41.

Prof. Dr. Halász László DSc.
Iskolaigazgató úr részére
ZMNE BJKMK KMDI
Fax: 432 9084

Tárgy: Molnár András „A polgári és katonai robotjárművek fejlesztésében alkalmazott új eljárások és technikai megoldások” című PhD értekezés-tervezetének véleményezése.

1. Általános észrevételeim:

- 1.1. Az igen alapos és konstruktív jellegű értekezés-tervezet tartalma és címe nincs összhangban. Mivel kár lenne az értekezés tartalmához hozzányúlni, ezért célszerűnek tartanám a cím után zárójelben feltüntetni „(különös tekintettel a pilótánélküli repülőgépek vonatkozásában)”, mivel egy-két utalás kivételével a Szerző a robotrepülőgép rendszerek kérdéseivel foglalkozik. Ilyen kivétel például a Szerző által kifejlesztett robotvezérlő egység, amely univerzálisan alkalmazható (szárazföldi, vízi és légi) tudományos eredményért a Szerzőt külön elismerés illeti.
- 1.2. Tetszett, hogy az értekezés-tervezetben végig kísérhető a Szerző saját alkotó munkája (pl. a harmadfokú szabályozó függvényt meghatározta, függvény vizsgálatát végezte, diagramokat készített, szimulációt készített stb.) és az „AEROBOT” kísérleti robotpilóta, illetve a robotvezérlő egység kísérletei során szerzett tapasztalat értékelése.
- 1.3. Szerencsésen és meggyőzően alkalmazza a Szerző az ábrákat (39 db), a diagramokat (25 db), a képeket (36 db) és a táblázatokat (7 db), mint hatásos szemléltető eszközöket.
- 1.4. Különösen előremutató az értekezésnek a továbbfejlesztés lehetőségeire illetve a felhasználási területekre utaló része (az UAV vonatkozásában)
- 1.5. Kissé zavarólag hathatnak egy ilyen minden szempontból kiváló dolgozatnál az előforduló nyomdatechnikai/értelmezési hiba (főleg az új tudományos eredmény esetében).
- 1.6. Hiányoltam a pilótánélküli repülőgép-rendszerek és azok rádióelektronikai, valamint irányítástechnikai (navigációs, robotpilóta stb.) berendezései magyarországi fejlesztési eredményeire való utalást a több, mint 15 év távlatában, illetve napjainkban.

2. A megadott szempontos szerinti észrevételeim:


- 2.1. A téma aktuális mivel mind polgári, mind pedig katonai területen felhasználhatók a robotok (a robotkutatás minden haderő, valamint védelmi szerv érdeke)
- 2.2. Az értekezés-tervezet alapjában véve megfelel a vonatkozó tartalmi és formai szempontoknak (megjegyezve, hogy a Hajtóművek új alfejezet címet és számozást [pl. 2.4.] is megérdemelne)

- 2.3. A jelölt tudományos eredményeként elfogadom minden feltétel nélkül az első hármat, a negyediket pedig átfogalmazással (pl. .. azokat a többek között lehetséges elveket ...)
- 2.4. Az 1.1. pont szerinti észrevételem figyelembevételével és az 1.5. pont szerinti hiányosságok kiküszöbölését követően javaslom az értekezés további eljárásra bocsátását újabb műhelyvita nélkül.
3. Összességében, a PhD értekezés-tervezetet ábrákkal, diagramokkal, képekkel és táblázatokkal illusztrált, illetve alátámasztott, jól kidolgozott, valamint szimulációkkal és tesztekkel igazolt gyakorlati orientált munkának tartom. Egyetértek a Szerző javaslataival, ajánlásaival (a hazai kutató-fejlesztő központ létrehozása helyett kutató-fejlesztő csoport létrehozását a HM TH vagy a MH EI Rt keretein belül)

Végezetül gratulálok a pályázónak és sikeres védést kívánok.

Budapest, 2005.04.01.

Tisztelettel:



Dr. Gráfik János
nyá. mk. ezredes
a haditechnikai tudomány
kandidátusa

Dr. Várhegyi István, nyá. ezds.

ZMNE c. docense,
a ZMNEBJKM, KMDI
alapító tagja és tanára,

Prof. Dr. Halász László DSc.

ZMNE BJKMDI
igazgatója

Budapest

Tárgy: Észrevételek és megállapítások **Molnár András informatikai-mérnök tanár, doktorjelölt** „A polgári és katonai robotjárművek fejlesztésében alkalmazott új eljárások és technikai megoldások” c. Ph.D értekezés tervezetével kapcsolatos műhelyvita alkalmából.

Tisztelt Igazgató Úr!

Molnár András doktorjelölt, (továbbiakban a szerző) Ph.D értekezés tervezetét áttanulmányoztam és a következő megállapításokra jutottam:

A műhelyvitákon nem túlzottan gyakran találkozunk olyan dolgozatokkal, amelyekben az elméleti és gyakorlati kutatások mellett kísérleti fejlesztő tevékenység eredményét kell vizsgálni, vagy megítélni. Molnár András doktorjelölt esetében ez utóbbiról van szó. Ez a helyzet bonyolítja a műhelyvita résztvevők véleményalkotását. Néhány rész kérdésben – szakmai kompetencia hiányában – érdemi véleményt én sem tudok alkotni. Esetemben ilyen helyzet állt elő a tervezet II. és III. fejezetével kapcsolatban, ahol a matematikai apparátusok helyességét nem állt módomban ellenőrizni. Ez a feladatot más szakértőknek kell megoldania. Mindazonáltal ez nem akadályozott meg abban, hogy a dolgozat összértékét nem tudjam értelmezni, annál is inkább, mivel a robotrepülőgépek katonai felhasználásának kérdéseivel elvi síkon igen intenzíven foglalkozom. Kutatásaimmal jelentős mértékben elősegítettem a probléma elmélyült hazai vizsgálatát, és a kezdeti fejlesztések sikeres beindítását. Egyértelműen megállapítható, hogy azok a kérdések, amelyeket a doktorjelölt vizsgált, kutatott és tovább fejlesztett a robotrepülőgépek katonai alkalmazásánál a központi kérdések közé tartoznak. Biztos kiinduló alapot képeznek olyan további kutatási témákhoz, mint pl.

- a mikro és nanorobotok repülési és navigációs problémái;
- a robotrepülőgépekkel végzett légi csapások problémái;
- a vegyes összetételű kötelék repülések (pilóta vezetésű légi járművek és a robotrepülőgépek közös repülései);

- o a robotrepülőgépek önálló kötelékrepülése, hogy csak a legfontosabb és legsürgősebb fejlesztési feladatokat említsem meg.

A jelölt eredményeit a hazai légi és földi robotjárművek említsem meg. fejlesztése területén újszerűnek, fontosnak és alapozó jelentőségűnek tartom.

Az értekezés tervezet – kiegészítésekkel -- összhangban van a ZMNEDSZ 28. és 29. paragrafusainak tartalmi és formai előírásaival.

Ami a tartalmi követelményeket illeti:

Az értekezés tervezet (továbbiakban tervezet) tartalmazza a kutatási célkitűzéseket, kutatási módszereket, felhasznált szakirodalmak felsorolását. Rendelkezik kutatói hipotézisekkel, célkitűzésekkel, rész- és végkövetkeztetésekkel, új tudományos eredmények felsorolásával, további kutatási irányok meghatározásával, és az értekezés jövőbeni felhasználásra vonatkozó ajánlásokkal. A szerző elért tudományos eredményei összhangban vannak a megfogalmazott hipotézisekkel és célkitűzésekkel.

A szerző stílusa, okfejtései és következtetései logikusak, közérthetők és jól követhetők. Kifejtései és indoklásai megfelelnek az értekezéssel szemben elvárható követelményeknek.

A művet a szerző önálló, rendszerezett és komoly tudományos eredményekkel bíró elméleti és fejlesztői kutatómunka eredményének tartom. Egyes elemei találmány jellegű eredményket mutatnak fel.

A doktorjelölt a nemzetközi és hazai szakirodalomban igen mélyreható és korszerű ismeretekkel rendelkezik. Azokat alkotó módon használta fel, miközben a vonatkozó legújabb szakismereteket saját eredményeivel tovább gazdagította.

A tervezet kapcsán nemcsak egyszerű tudományos értekezéssel állunk szemben, hanem egy olyan mérnöki alkotást vizsgálhatunk, amelynek komoly – osztársadalmi és katonai védelmi, illetve piaci -- célokat szolgáló értéke van.

A szerző kutatásai és fejlesztési eredményei jelentős mértékben megalapozzák és gazdagítják a kis méretű pilóta nélküli repülő eszközök (UAV) hazai fejlesztését, valamint a kísérleti gyártáshoz szükséges technológiát. A szerző erőfeszítései és

eredményei egy új ipari és védelmi kultúra, vagyis a hazai földi és légi robotjármű gyártástechnológia bevezetését teszik lehetővé.

Egyet lehet érteni a jelölt azon ténymegállapításával, miszerint a légi robotok (UAV-k) szerepe a védelmi feladatok ellátásában exponenciális mértékben növekszik. A legfejlettebb országok esetében az UAV-k a légi felderítés nélkülözhetetlen eszközévé váltak szakasz, század, zászlóalj, dandár és magasabb vezetési szinteken. Ilyen egyértelmű fejlődési irány felismerésénél számunkra nem lehet közömbös egy olyan kérdés eldöntése, hogy vásároljunk, vagy gyártsunk saját légi és földi roboteszközöket?

A gyártás elméleti és gyakorlati kérdésére – az általa meghatározott peremfeltételek és típusfajták között -- Molnár András kutatómérnök megtalálta a helyes válaszokat, amit kísérleti repülésekkel bizonyítani is tudott.

A szerző elsősorban a kis és közepes méretű robotrepülőgépek fejlesztési kérdéseit tárgyalta és szándékosan nem foglalkozott a mikro és nano-méretű robotrepülőgépek (UAV-k) kérdésével, mivel azok más aerodinamikai és fizikai törvényszerűségek tartományába tartoznak. Azok vizsgálata további kutatókra vár. Ugyanakkor igen nagy jelentőségűnek tartom azt a felismerést, hogy a szerző által kifejlesztett vezérléstechnikai algoritmusok (III. és IV. fejezetekben), mind a légi, mind a földi, adott esetben a vízfelszíni robotok irányítására egyaránt alkalmasak! Ezeket a matematikai és fizikai vezérlő elemeket nemcsak elméletben vizsgálta, de a gyakorlatban megépítette és érvényességüket kísérletekkel igazolta. A jelölt tudományos kutatási és fejlesztési tevékenysége példamutató és a kis méretű légi robotok esetében iskolateremtő.

A dolgozat értékét növeli az a tény, hogy a szerző nemcsak elméleti kutatásokat, de sikeres gyakorlati kutatómunkát is végzett, amelyet a gyakorlatban bizonyított.

Ami a formai előírásokat illeti:

A tervezet még nem minden vonatkozásban érte el a kivitelezés terén azt a készenléti színvonalat, amelyet a doktori szabályzók előírnak.

Ami formailag pozitív:

- A tervezet terjedelme megfelelő,
- Rendelkezik tartalomjegyzékkal,
- Rendelkezik felhasznált irodalommal, kép- és ábrajegyzékkal,

- Rendelkezik eddig megjelent publikációjegyzékkel,

Ami formailag negatív:

- A tudományos eredmények felsorolását (1., 2., stb.) számozni kellene, hogy a rájuk történő hivatkozásokat megkönnyítsék (116-117.o.),
- A tartalomjegyzék hiányos (a nálam levő példányban),
- Hiányzik a tudományos önéletrajz,
- Több helyen helyesírási hiba található (általam bejelölve),
- Az ábrák/vázlatok több helyen olvashatatlanok a rendkívül vékony vonalvastagság és a nem eléggé erős színhasználat miatt.

Javaslat a további eljárást illetően:


A szerző értékes, önálló elméleti és gyakorlati kutatómunkát, valamint fejlesztői tevékenységet végzett. Jelentős mértékben gyarapította a kis méretű légi robotrepülőgépek szakterületének ismeretanyagát. Kutatói-felfogásával és fejlesztői módszerével követendő iskolát teremtett a fiatal kutatók számára.

A szerző önálló új tudományos eredményének ismerem el az 1., 2., és 3. sorszámú eredményeket (116. és 117. o.)

Véleményem szerint a szerző – a témavezető hathatós támogatása mellett – képes a feltárt és a műhelyvitan még napvilágra kerülő kisebb formai hibák önálló kijavítására.

Ennek alapján – a feltárt hibák kijavítása után, újabb munkahelyi vita nélkül – javaslom a végleges formájú és tartalmú értekezés elkészítését, majd további eljárásra bocsátását. Sikeres védés eredményeképpen a szerzőt alkalmasnak tartom arra, hogy számára a Ph.D tudományos fokozatot odaitéljék.

Budapest, 2005. április 3-án


Dr. Várhegyi István nyá. ezds. CSc
a műhelyvita résztvevője

MOLNÁR ANDRÁS

„A POLGÁRI ÉS KATONAI ROBOTJÁRMŰVEK FEJLESZTÉSÉBEN ALKALMAZOTT ÚJ ELJÁRÁSOK ÉS TECHNIKAI MEGOLDÁSOK” CÍMŰ DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉSÉNEK ELŐZETES BÍRÁLATA

A doktori értekezéssel kapcsolatban a doktorjelölt témavezetőjének szóbeli felkérése alapján – átolvasás és tanulmányozás után – az alábbi észrevételeket, és megállapításokat tesszem:

1. Általános megállapítások

- 1.1. A doktori értekezés a doktorjelölt tudományos kutatómunkájának eredményeit szintetizáló, önálló alkotás. A doktori értekezés az alábbiak részekre tagolódik: bevezetés, 4 fejezet, következtetések, új tudományos eredmények, összefoglalás, ábrajegyzék, irodalomjegyzék, és a doktorjelölt publikációit bemutató rész.
- 1.2. A dolgozat első része a bevezetés. E fejezetben a doktorjelölt bemutatja a dolgozat elkészítésének célját, a kutatómunka során alkalmazott módszereket és eszközöket. A jelölt elhelyezi a kutatási témáját a hazai és a nemzetközi tudományos közéletben.
- 1.3. – A dolgozat első fejezete a pilóta nélküli repülőeszközök kialakulásával, azok gyártástechnológiai sajátosságaival, a légi járművek osztályozásával, valamint néhány UAV típus technikai paramétereinek ismertetésével foglalkozik. A jelölt bemutat néhány szimulátor programot, amelyek támogatják úgy az UAV-k tervezését, mint a repülést végző „pilóták” oktatását is. A szerző röviden ír a robotrepülőgépek üzemeltetéséről, a repülési pálya megtervezése során alkalmazott digitális térinformatikai rendszerről is.
- 1.4. A dolgozat második fejezete az UAV-K gazdaságos sárkányszerkezeti kialakításával foglalkozik. A jelölt ismerteti azokat az irányelveket, amelyek segítségével alap repülőgép típusok (önstabil, jóindulatú, széles sebességtartományú repülőgép, vitorlázó repülőgép) fejleszthetők ki. A szerző részletesen foglalkozik a szárnyprofilok aerodinamikai viselkedésével, a szárnyprofilok polárisának meghatározásával, valamint egyéb, nemhagyományos repülési üzemmódok (pl. átcsés) leírásával. A fejezet egy részében a jelölt részletesen foglalkozik a repülőgépek stabilitási kérdéseivel. A fejezetben a szerző új UAV-k létrehozása során az általa is javasolt, ún. „gyors prototípus” módszert javasolja. A doktorjelölt a repülőgépek sárkányszerkezete-, valamint a hajtómű tervezési kérdéseivel foglalkozik. Az értekezés tervezet e fejezete akár egy önálló PhD értekezés témája is lehetett volna.
- 1.5. A dolgozat harmadik fejezete a repülési navigáció alapkérdéseivel, és a GPS rendszerek pontosságával foglalkozik, valamint az MP2000 repülésszabályozó rendszerrel végrehajtott teszt-repülések eredményeit mutatja be.
- 1.6. A dolgozat negyedik fejezete az „Aerobot” kísérleti robotpilóta rendszer tervezési kérdéseivel foglalkozik. A szerző különös figyelmet fordít a szabályozók átviteli függvényének meghatározására. A doktorjelölt két irányítási csatómával, a repülési magasság, és a repülési sebesség automatikus stabilizálásával foglalkozik. A szerző számítógépes szimuláció segítségével vizsgálja, hogy a turbulens külső környezet milyen módon befolyásolja a repülésszabályozó rendszer működését. A dolgozatban a szerző bemutatja az irányásszög stabilizálására általa javasolt automatikus repülésszabályozó rendszert. A dok-

torjelölt kétdimenziós térben, sík felületen haladó, távvezérelt, kísérleti robotautón tesztelte az irányszög-stabilizálást biztosító algoritmust. A fejezetben a szerző néhány teszt-repülést mutat be, melynek során a szerző a magasság, és a sebességstabilizáló csatómák beállítását ismerteti. Tekintettel arra, hogy a teszt-repülőgép – egyik repülése során – lezuhant és összetört, ezért a jelölt számára csak korlátozott mennyiségű információ áll rendelkezésre a repülőgép, illetve a jelölt által tervezett, és megépített „Aerobot” kísérleti robotpilóta működőképességének, és alkalmazhatóságának megítélésére. A fejezetben tárgyalt kérdések tudományos alapú taglalása akár egy önálló PhD értekezés témája is lehetett volna.

2. Megállapítások, javaslatok

- 2.1. A részemre átadott értekezés tervezet 2. oldala hiányzik.
- 2.2. A dolgozat tervezet számos helyesírási, és gépelési hibát tartalmaz, amit javítani szükséges.
- 2.3. Az értekezés (119-124) oldalai törölhetőek.
- 2.4. Lényeges mértékben egyszerűsíteni szükséges az ábrák, képek, diagramok jelölését, mert a dolgozatban alkalmazott jelölésrendszer feleslegesen túlbonyolított.
- 2.5. Az értekezés aktualitásának megalapozottságát a szerző nagyon kevés szakirodalmi hivatkozással támasztja alá. Tekintettel a hasonló tartalmú doktori értekezésekre, valamint a doktorjelölt számos területet átölelő munkájára, kb. (140-150) tudományos mű idézése kívánatos lett volna. Célszerű lenne az egyes fejezetek előtt szakirodalmi áttekintést adni a fejezethez kapcsolódó, korábban már publikált tudományos eredményekről, ily módon könnyebb lenne a jelölt tudományos kutató munkáját megítélni.
- 2.6. Az értekezés 12. oldal, utolsó bekezdésében a doktorjelölt a modern harci repülőgépek digitális számítógépes kormányrendszeréről ír néhány gondolatot. A szerző kifejti, hogy e kormányzási rendszerre azért van szükség, mert a repülőgép-vezető ily módon több időt tud a harcászati feladat végrehajtására fordítani. A valós ok nagyon egyszerű: a hagyományos redundáns kormányrendszerek az 1970-es évek elejére egyfajta technológiai zsákutcába futottak: a méretük és a tömegük is óriásira duzzadt, bonyolult felépítésük miatt üzemeltetésük összetetté, és költségessé vált. Problémaként jelentkezett, hogy a hagyományos érzékelők meglehetősen nagy hibával mérték az egyes repülési paramétereket. Az 1960-1970-es években a repülőgépek törzse, szárnya egyre karszerűbb lett: a jó kormányozhatóság, és manőverező képesség oltárán feláldoztak egy régi tervezési paradigmát, hogy a repülőgépek statikusan stabilak kell legyenek. Egyre nőtt a repülési sebesség, és a repülési magasság. E kihívások arra ösztönözték a tervezőket, hogy új tervezési, gyártástechnológiai, mérés-technikai, és irányításelméleti paradigmákat alkalmazzanak. Az X-29 repülőgép programja során bebizonyították, hogy instabil aerodinamikai elrendezésű repülőgépek is stabilissá tehetőek, ha az elsődleges kormányfelületek mellett másodlagos (segéd) kormányfelületeket is alkalmaznak. Modern repülőgépek esetén a nagyszámú (sokszor néhány száz) kormányfelület mozgatása a hajózó izomerőjével már nem megoldható, ezért a másodlagos kormányfelületek mozgatását csak és kizárólag a fedélzeti számítógép végzi, míg a hagyományos, elsődleges kormányfelületek működtetését – számítógépek segítségével – a hajózó végzi. A digitális számítógépek fejlődése, javuló fajlagos paramétereik új lökést adtak a szabályozási rendszerek méretének és tömegének csökkentése területén: adott egységnyi tömeg mellett a számítási kapacitás és a számítások valósidejű sebessége sokszorosára növekedett. Az egyre olcsóbb, és egyre megbízhatóbb digitális hardver eszközök rohamosan terjedtek el a repülőfedélzeti szabályozási, illetve jelfeldolgozó rendszerekben.

- 2.7. A dolgozatban az akkumulátorok egyik fontos műszaki paramétere, az akkumulátor töltése, több helyen is keveredik a kapacitás fogalmával. Az „Ah”, vagy „mAh” prefixummal megadott mennyiségek villamos töltést definiálnak, nem pedig kapacitást.
- 2.8. Az 1.1.2., az 1.1.3, és az 1.1.4. fejezetekben ismertetett repülőeszközök ismertetése túlzott méretű, a bemutatott pilóta nélküli repülőgépek műszaki paramétereinek ismertetését célszerű táblázat formájában megadni.
- 2.9. Az értekezés tervezet 26. oldalán szakirodalomként is hivatkozott MP2000 robotpilóta impresszuma tartalmazza, hogy a kézikönyvben foglaltakért a kiadó semmilyen garanciát és felelősséget nem vállal, ezért a szakirodalmak között e forrásra hivatkozni nem célszerű. Az MP2000 kézikönyvet magam is ismerem, korábban abban számos irányítástechnikai, és hangolási hibát fedeztem fel, melyeket megosztottam a jelölttel: tehát megcsízelendő a kézikönyv kiadójának intelme. Figyelemre méltó a doktorjelölt azon kijelentése is, hogy a platform-független robotpilóta beállítása komoly szakértelmet igényel.
- 2.10. Az Sz1. ábra az MP2000 robotpilóta működési vázlatát tartalmazza, amely a repülőgép test-koordináta rendszerének tengelyei körül a forgómozgás szögsebességeinek érzékelésére giroszkópokat tartalmaz.
- 2.11. A szerző az értekezés 33. oldalán egy optimális magassági profilt mutat be. A légi járművek működését leíró folyamatok minden áron történő optimalizálását főleg az 1960-as években figyelhetjük meg. Az optimalizálás egyik fontos sajátossága és egyben hátránya is, hogy egy szabályozási rendszer működése, energiafelhasználása stb. egy adott kritérium szerint optimalizálható, de az így kapott megoldások egy másik kritérium szerint már – nagy valószínűséggel – nem lesznek optimálisak. A repülőgépek repülésszabályozó rendszerei elsősorban funkcionális stabilitással, szabályozástechnikai értelemben vett stabilitással, és megfelelő minőségi jellemzőkkel kell, hogy rendelkezzenek. E követelményeket különféle szabványok (pl. MIL-F-8785C, MIL-F-9490D, MIL-C-18244A) adják meg. A repülésszabályozó rendszerek tervezése tehát nem egy teljesen önkényes követelményrendszer szerint történik, hanem szigorú minőségi követelmények teljesítése mellett. A repülésszabályozó rendszerek tervezése során tehát előbb teljesíteni kell a megadott minőségi követelményeket: a rendszeroptimalizálás csak ezután következhet. Modern tervezési algoritmusok lehetővé teszik az optimális szabályozó megtervezését is.
- 2.12. Az értekezés 40. oldalán az első bekezdésben keveredik a felhajtóerő-tényező, valamint a felhajtóerő fajlagos mértékének fogalma. A bekezdést pontosítani szükséges.
- 2.13. Az értekezés 2.2 fejezete a légi járművek stabilitásának elméletével foglalkozik. A statikus stabilitás alapvetően a repülőgép derivatív együttthatóin keresztül mutatható be. A szerző e derivatív együttthatók közül egyet sem mutat be, és nem is elemez. Ajánlom a szerző figyelmébe McLean, D., Nelson, R. C., Blakelock, J. H., Sztudnyev, R. V., Bjugens, G. S., Seckel, E., McCormick, B. W., Rácz, E. és mások e témával foglalkozó szakkönyveit.
- 2.14. A dolgozat 2.2 fejezetének komoly hiányossága, hogy a szerző a dinamikus stabilitás kérdéskörével abszolút nem foglalkozik. A repülésmechanika e problémakörének bemutatása, az elméleti ismeretek rendszerezése nagyban segítette volna a doktorjelölt rendszertervező tudományos munkásságát. Az általam fent megadott szakkönyvek részletesen taglalják a repülőgépek dinamikus stabilitásának problémakörét is.
- 2.15. A doktorjelölt a 2.2 fejezetben csak a felsőszárnyas konstrukciók statikus stabilitásával foglalkozik, holott a szerző által közölt ábrákon számos közép-, illetve alsószárnyas konstrukciójú repülőgép is látható (pl. Predator B, X-45A, Global Hawk, SWARM, MQM 107, Warrior). Mivel a szerző nem közölt stabilitásvizsgálati elméleti összefoglalót a különféle aerodinamikai elrendezésekről, ezért nehéz megállapítani és megítélni az álta-

- la a 70. oldalon javasolt felsőszárnyas konstrukció alkalmazásának egyértelműen pozitív tulajdonságait.
- 2.16. A doktorjelölt a 64. oldalon leírja, hogy a MAND1 repülőgépen rögzített kamera által készített video felvételeket több szakember hasznosíthatónak ítélte meg. Ha megtörtént a video felvétel digitális feldolgozása, akkor célszerű lenne annak eredményeit – publikációs hivatkozással – beilleszteni a dolgozatba.
- 2.17. A doktorandusz a 65. oldalon írja, hogy dokumentálta a MAND3 repülőgép új építési technológiáját. Ha e technológia tudományos fórumokon is ismertetett, akkor a megfelelő forrást hivatkozni kell a dolgozatban.
- 2.18. A dolgozat 68. oldalán a doktorjelölt ismerteti repülési eredményeit, amelyeket a REKA1 repülőgép zuhanási kísérleteivel ért el. A szerző megemlíti, hogy a zuhanási tesztek igazolják, hogy az emberrel való ütközés – nagy valószínűséggel nem okozna maradandó személyi sérülést. Mivel a bccsapódás következményeit a jelölt a repülőgép sárkányszerkezetének sérüléseim mérte, ezért megállapítása, hogy az emberre nem veszélyes egy esetleges zuhanó repülőgép, mindössze hipotézis, nem pedig igazolt állítás.
- 2.19. A 69. oldalon a szerző ismerteti, hogy a REKA1 repülőgép fedélzetén rögzített kamera 20-30 méter magasságig ad jó felbontású, kiértékelhető képet. Megemlíteni szükséges, hogy a teszt-repülés magassága nem volt különösen nagy. Amennyiben például egy erdőtüz, vagy tarlótüz, esetleg égő nádasok felett kell repülni, repülésbiztonsági okok folytán jóval nagyobb magasságról kell felvételt készíteni.
- 2.20. A 74. oldalon a szerző közli, hogy az inerciális navigációs rendszerek pontossága javítható azok repülés közben végrehajtott helyesbítésével. A helyesbítésre (30–60) percenként kerül sor. Mivel a szerző által készített pilóta nélküli repülőgépek átlagos repülési ideje (10–12) perc, ezért az inerciális navigációs elv minden komoly következmény, nagyobb érzékelési hiba nélkül alkalmazható lenne a jelölt repülőgépei automatikus repülésszabályozásának folyamata során is.
- 2.21. A dolgozatban több helyen a szerző a „szervo” kifejezést használja a „beavatkozó szerv” kifejezés helyett. Bár a szerző által alkalmazott szakkifejezés széles körben elterjedt, az nem helyes. A „szervo” kifejezés forrása az angol „Hydraulic servo actuator” lehet, ami hidraulikus erősítő berendezést, más néven kormányerő csökkentőt, vagy – szabályozástechnikai szakkifejezést használva – beavatkozó szervet jelent.
- 2.22. A szerző a 4.1. fejezetben különféle szabályozási törvényeket vet össze viselkedés, megvalósíthatóság, és más sajátosságok szerint. A szerző nem adja meg, hogy az általa megtervezett és megépített fedélzeti repülésszabályozó rendszer milyen minőségi követelményeknek tesz eleget. A szabályozó megtervezését úgy hajtja végre, hogy maga az irányított szakasz, a repülőgép térbeli mozgásának matematikai modellje nem ismert. A szerző sem modell, sem parametrikus identifikációval nem foglalkozik, bár a teszt-repülések az identifikáció kezdeti lépéseire már elegendő adatot szolgáltatott volna. Bármiféle szabályozótervezés és hangolás előtt a repülőgép térbeli mozgásának matematikai modelljét identifikálni szükséges.
- 2.23. A szerző a 4.2 fejezetben az „Acrobot” repülésszabályozó rendszer magasságtartó csatornáját vizsgálja a szerző. Az általa javasolt rendszerben a magasság tartása a hajtómű teljesítményének szabályozásával történik. E megoldást a szerző rendbogyó megoldásnak nevezi. A szabályozási rendszer megtervezését nem előzte meg a repülőgép modell, és parametrikus identifikációja, a repülőgép irányíthatóságának, illetve megfigyelhetőségének vizsgálata. A Kalman-féle irányíthatósági, és megfigyelhetőségi rang-feltétel a szabályozótervezés szükséges és elégséges feltétele. E feltételek vizsgálata nélkül a szabályozótervezés teljes egészében hipotetikus, az eredmények egy adott repülőgép esetén csakis a szerencsének köszönhetően alkalmazhatóak.

- 2.24. Komoly kérdést vet fel, hogy a doktorjelölt által javasolt sárkányszerkezeti kialakítás, a kormányfelületek száma megfelelő és elegendő-e a repülőgép térbeli mozgásának irányítására. E kérdéskörre a választ a nemirányított repülőgép identifikált modelljén végrehajtott irányíthatósági, és megfigyelhetőségi vizsgálatok adják meg.
- 2.25. A szerző által javasolt beavatkozási elv nem szerencsés, mivel a magasság változtatása a hajtómű teljesítményének megváltoztatására épül: vagyis változik a hajtómű által átalakított hajtóenergia mennyisége. Mivel a szerző által épített repülőgépek csak korlátozott repülési idővel (kb. (10-12) perc) rendelkeznek, ezért nem ésszerű, és nem célszerű a fedélzeten tárolt energiahordozót szabályozási műveletek megvalósítására fordítani. A szerző által javasolt megoldás lényegesen csökkenti a repülőgép hatósugarát, hatótávolságát, valamint repülési idejét is.
- 2.26. A repülési magasság stabilizálására általában magassági kormányt, vízszintes vezérsíkot, kacsaszármát, vagy más, alkalmas kormányfelületet használnak. E megoldások számítanak rendhagyó megoldásnak. A repülési magasság repülési sebességen keresztül történő megváltoztatása azért nem célszerű, mert a repülési sebesség megváltozása a repülőgép olyan aerodinamikai jellemzőinek megváltozását is magával vonja, amelyeket a szabályozási feladat megoldása során nem is szeretnénk megváltoztatni (pl. az oldalirányú mozgás repülési paraméterei, derivatív együttműködési, a légerők és nyomatékok együttműködési stb.).
- 2.27. A K2 diagram függőleges tengelye nem kalibrált.
- 2.28. A doktorjelölt dolgozatának 5.3 fejezetében (helyesen: 4.3) a sebességtartás szabályozástechnikájával foglalkozik. A szerző által javasolt megoldás olyan szabályozási rendszer, amely beavatkozó szervként a magassági kormányt alkalmazza. E szabályozási rendszer tervezését sem előzte meg semmilyen identifikációs eljárás, holott az MP2000 robotpilóta adatrögzítő funkcióval is bír: a rögzített adatok alkalmasak lettek volna úgy a modell, mint a parametrikus identifikációra.
- 2.29. A sebesség szabályozó rendszer tervezését nem előzte meg az irányíthatóság, és a megfigyelhetőség Kalman-féle rang-feltételének vizsgálata: a javasolt szabályozási rendszer ily módon hipotetikus, repülőgépen történő alkalmazása nem szerencsés.
- 2.30. Tekintettel arra, hogy a repülőgépek sebességstabilizáló rendszerében beavatkozó szervként magát a hajtóműve(ke)t szokás alkalmazni, ezért a sebességstabilizáló rendszer nem képezi az automatikus repülésszabályozó rendszer részét, „Autothrottle System” névvel önálló szabályozási rendszerként alkalmazzák őket a repülőgépek fedélzetén.
- 2.31. A javasolt robotpilóta rendszer számítógépes szimulációja (K2, és K3 kép) igazolta, hogy a repülőgép valós közegben – turbulens környezetben – nem képes megtartani a repülési magasságot. Az instabilitás okának megalapozott szabályozástechnikai vizsgálatával a doktorjelölt adós maradt. Ilyen vizsgálat lehetett volna elméleti stabilitásvizsgálat, irányíthatósági-, vagy megfigyelhetőségi vizsgálat, minőségvizsgálat, sztochasztikus analízis, zavarelhárítás vizsgálata, a szabályozó analízise idő-, és frekvenciatartományban. E vizsgálatok a megfelelő irányítástechnikai, valamint modern szabályozástechnikai ismeretek birtokában könnyen elvégezhetőek.
- 2.32. Az instabilitás kérdésének vizsgálata azért is fontos, mert előfordulhat, hogy legüzemeltetési korlátozások bevezetése nélkül a problémakör nem oldható fel.
- 2.33. Amennyiben a javasolt szabályozó „gctjedésre” hajlamos, mint ahogyan írja a doktorjelölt, tehát az alapvető feladatát nem képes ellátni, úgy elképzelhető, hogy meg kellett volna változtatni a szabályozó által leképezett vezérlési törvényt. E változtatás érinthette volna a harmadfokú vezérlési törvények paramétereit (M_0, M_1, S_0, S_1), vagy szükség esetén magát a harmadrendű szabályozót is.

- 2.34. A doktorjelölt az értekezés tervezetében – a harmadfokú vezérlési törvény mellett – három másik (lineáris, szakaszonként lineáris, és trigonometrikus) vezérlési törvényt is bemutat. A szerző jól ismert elméleti megfontolások alapján a harmadfokú szabályozó alkalmazása mellett döntött. Célszerű lett volna a számítógépes szimulációt mind a négy szabályozó típusra elvégezni, az eredményeket összevetni, és eldönteni azt a kérdést, hogy összességében mely szabályozó biztosítja a repülésszabályozó rendszer megfelelő működését.
- 2.35. A doktorjelölt által javasolt harmadfokú vezérlési törvény szerint működő zárt repülésszabályozó rendszer – bizonyos külső és rendszertechnikai belső – feltételek mellett instabil. Célszerű lett volna e vonalat tovább elmeríteni, hiszen egy szabályozással szemben támasztott elsődleges követelmény a stabil működés. A szabályozás instabillá, annak üzemeltetési tartományán belül, nem válhat. Ha ez mégis megtörténik, akkor a szabályozás nem látja el elsődleges feladatát. Az instabil repülési tartomány vizsgálatával a jelölt adós maradt.
- 2.36. A dolgozat 4.5. fejezetében a jelölt a pilóta nélküli repülőgépek útvonal tartásával foglalkozik. A 93. oldal 2. bekezdésében a repülési irány, illetve a célirány jelölésére a jelölt az α és a β betűket alkalmazza. Az ISO 1151-1 szabvány szerint e görög betűkkel az állásszöveget, illetve a csúszásszöveget szokás jelölni. E jelöléseket a hivatkozott szabvány szerint módosítani szükséges az alábbiak szerint: Ψ – irányyszög, míg a célirány szöveget tetszőleges, olyan betűvel is jelölhetjük, amelyet a szabályozók lehetővé tesznek.
- 2.37. A 93. oldalon a szerző által közölt K3. ábra alapján hibásan vette fel az egyes szögeket, így a vezérlési törvényt is módszeres hibával írta fel. A K3. ábrán az alkalmazott jelölések és elnevezések helyesen a következők lesznek:
- 2.37.1. α – mágneses irányyszög (a szerző által jelölve), amely a repülési útvonal minden egyes szakaszán, két fordulópont között állandó. Értéke csak az új célra (fordulópont) történő ráfordulás során lényeges. Ha megtörtént az új célra történő ráfordulás, értéke elveszti jelentőségét. E pillanattól kezdve a cél iránya képezi a szabályozás tárgyát. Az α szög értéke $(0-360)^\circ$ között változhat.
- 2.37.2. β – a cél szöge (a szerző által jelölve), amely az egyes pályaszakaszokon történő végigrepülés során – ideális esetben – zérusértékű. E szög értéke a hibajel, míg a szög előjele a repülőgép pályához való viszonyát adja meg. A β célszög abszolút értékét az útvonalrepülés minőségi jellemzői korlátozzák, illetve adják meg. Értéke általában $\pm 0,5^\circ$, de ettől eltérő minőségi követelmények is ismertek (lásd a korábban hivatkozott MIL-szabványokat).
- 2.38. A doktorjelölt az értekezés tervezet 93. oldalán a (8) kifejezést harmadfokú szabályozófüggvénynek nevezi, holott a vezérlési törvények egyszerű, skalár együtthatóval súlyozott abszolút érték függvények.
- 2.39. Az értekezés tervezet 93. oldalán a jelölt definiálja a K_h hibajelét, amely jel alapján megtörténik az oldalkormány kitérése. Az értekezés 82. oldalán a szerző úgy írja le a kísérleti repülőgépet, hogy az három vezérlő jellel, a vízszintes vezérsík szögkitérésével, a függőleges vezérsík szögkitérésével, valamint a motor teljesítményével irányítható. Kérdéses, hogy az egyes szimulációkat a szerző végül is mely repülőgép modellen hajtotta végre, annak milyen bemenetei, és milyen szabályozott jellemzői voltak.
- 2.40. A szerző által az értekezés tervezetben bemutatott szabályozási rendszerek az eltérés elve alapján működnek. E működési elv szerint a szabályozási rendszerekben csak akkor történik beavatkozás, ha a hibajel, vagyis a szabályozni kívánt repülési paraméter referencia (stabilizálni kívánt) értéke, valamint az adott repülési paraméter különbsége

nem zérusértékű. Feltételezzük, hogy a repülőgép az útvonalrepülése során egy adott pályaszakaszon ideális repülést hajt végre, tehát $\beta = 0$ és $l = 0$. Ebben az esetben tehát nem kell beavatkozni, hiszen a repülőgép a következő fordulópont előre megadott irányán repül. Ha a (8) egyenlettel megadott vezérlési törvényt alkalmazzuk, akkor $(255 > \alpha > 360)^\circ$ esetén – a szerző által alkalmazott kezdeti, egységnyi súlyozást feltételezve – mindig igaz, hogy $(|\alpha - \beta| * h_0 + l * h_1) * h_2 > 255$, vagyis $K_h = 255$. Ez azt jelenti, hogy a mágneses irányszög $(255 > \alpha > 360)^\circ$ tartományában a szabályozási rendszer bemenete akkor sem zérusértékű, ha egyébként a hibajel zérus, vagyis $\beta = 0$. Erre irányszög tartományban a szabályozási rendszer tehát sohasem kerül egyensúlyi állapotba, mindig lesz valamilyen, zérustól eltérő értékű bemeneti jele.

- 2.41. A szerző az útvonalrepülés során a repülőgép pályán tartását olyan módszer segítségével igyekszik megvalósítani, amely – oldalkormányal történő beavatkozás során – a függőleges tengely körüli legyező szögsebesség változását nem veszi figyelembe, holott az oldalkormány szöghelyzet változása után a függőleges tengely körül kialakuló nyomtérváltozás elsődleges eredménye a legyező szögsebesség, amelyet – bizonyos feltételek mellett – integrálva kapjuk az irányszög változást.
- 2.42. A doktorjelölt a 4.7. fejezetben kétdimenziós térben, vagyis a síkban mozgatott kísérleti robotautón tesztelte a robotrepülőgép navigációs képességét. E kísérletek eredményei és következtetései háromdimenziós térben mozgó repülőgépek esetén – szigorú megkötések nélkül – nem alkalmazhatók, mert:

2.42.1. az esetleges oldalirányú zavarást (pl. oldalirányú turbulencia) nem lehet bevenni a rendszerbe, így a repülésszabályozó rendszer zavarelhárító képességének vizsgálata sem folytatható le. Az oldalszél fontos üzemeltetési korlátozás is egyben, tehát hatásának vizsgálata nem mellőzhető. A szerző korábbi vizsgálataiban, a repülési sebesség és a magasságtartás is akkor vált instabillá, kaotikussá, amikor a szerző sztochasztikus külső zajjal gerjesztette a repülőgépet. E zavarások energiája, amelyek megváltoztathatják az irányszöveget, a teszt-autó esetén a kerekek felületén, a kerekek felfüggesztésében, illetve csapágyazásában elnyelődnek, mielőtt érdemben manipulálnák az irányszöveget.

2.42.2. a szabályozás külső és belső zajai óhatatlanul megváltoztatják a repülőgép hosszirányú mozgásának állapot-változóit (pl. a repülési sebességet, a repülési magasságot, állásszöveget) is, hiszen a külső zavarás, a légköri turbulencia gyakorlatilag egy véletlenszerűen változó vektor-teret reprezentál. Így az oldalszél megdönti a repülőgépet, amely a kereszt tengely mentén egyenesvonalú, míg a hossz tengely körül forgó mozgást is végez. A repülőgép bedőlésekor a repülőgép orr része leereszkedhet, ami magasságvesztéssel is járhat. E jelenséget – modern repülőgépek fedélzetén – az ARI (Aileron-to-Rudder Interconnection) rendszerek hivatottak kompenzálni. A dőlés miatti magasságvesztést a teszt-autón vizsgálni nem lehetséges, hiszen az autó kerekei alatt alátámasztott, koordinátájának változása a függőleges tengely mentén nem lehetséges.

- 2.43. A szerző a robotautón végzett kísérletei során olyan mennyiségű, és olyan jellegű egyszerűsítő feltétel-rendszert alkalmazott, amely a kísérlet eredményeinek repülőgépen történő alkalmazhatóságát megkérdőjelezi.

- 2.44. A szerző 105. oldalán az 5. bekezdésben megállapítja, hogy – mélyebb szabályozástechnikai ismeretek nélkül is – készíthető gyorsan és egyszerűen beállítható repülésszabályozó rendszer. Tekintettel a szerző TIRMO repülőgépen végrehajtott repüléseire, va-

- lamint a repülőgép lezuhanásata és összetöréséért, a megállapítás kissé talán túlzónak tűnik.
- 2.45. A TIRMO kísérleti repülőgép magasságtartó funkciójának tesztelése során a repülési magasság kb. 142 m magasságról kb. 152 m-re növekszik. A magasságtartás folyamatának ily mértékű pontatlansága csak akkor ítéltető megfelelőnek, ha a magasságtartó szabályozás minőségi követelményei ezt megengedik. A Tr.6. ábrán a vízszintes tengely nem kalibrált, így a szabályozási folyamat fontos minőségi jellemzői (pl. tranzienst idő, csúcsidő, túlszabályozás, csillapítási tényező stb.) felelősséggel nem határozhatók meg.
- 2.46. A TIRMO pilóta nélküli repülőgép sebességstabilizáló rendszerének behangolása során a repülőgép átesett, és lezuhant. A Tr. 7. diagramon látható sebesség-, és magasság időfüggvények nem alkalmasak arra, hogy felhasználva őket megbízhatóan rekonstruálni lehessen a kritikus időpillanat ($t=12$ sec) és a becsapódás között eltelt időintervallumon, hogy miért került a repülőgép veszélyes állászsögbe, valójában mi okozta a repülőgép lezuhanását. E repülési szituáció kimerítő vizsgálatával a szerző adós maradt, így a repülőgép elvesztésének okairól nem kaptunk mélyreható fizikai-aerodinamikai-irányítástechnikai magyarázatot.
- 2.47. A TIRMO pilóta nélküli repülőgép irányszög stabilizáló rendszerének vizsgálatára – a repülőgép lezuhanása miatt – nem került sor, ily módon a teszt-autón vizsgált navigációs algoritmust nem sikerült repülő fedélzeti szabályozó rendszerben is vizsgálat alá vetni.

3. A PhD fokozatszerzés minimum követelményeinek teljesítése

Tekintettel arra, hogy a doktorjelölt nem a ZMNE Doktori Szabályzatában foglaltaknak megfelelően csoportosította tudományos munkásságának eredményeit, valamint nem mellékelte társszerzői nyilatkozatokat sem, ezért a fokozatszerzéshez szükséges tudományos munkásság – jelenleg – nem ítéltető meg. Célszerű lenne csoportosítani a publikációkat, és a doktorjelölt tudományos munkásságának megítéléséhez nélkülözhetetlen társszerzői nyilatkozatokat mellékelni kell az értekezéshez.

4. Az értekezéssel kapcsolatos további megállapítások

1. A doktori értekezés a doktorjelölt saját, önálló munkájának tekinthető. A doktorjelölt óriási területet ölelt át dolgozatával. Szerencsésebb lett volna azonban jóval kisebb területet (pl. gyors és olcsó sárkányszerkezetek előállítására, robotpilóták tervezése és tesztelése, egy konkrét repülési esemény vizsgálata, pilóta nélküli repülőgépek szabályozástechnikája, pilóta nélküli repülőgépek repülési tartományának felvétele és légi üzemeltetési korlátozások meghatározása, pilóta nélküli repülőgépek viselkedése nagy állászsögeken, repülőgép modell-, és parametrikus identifikációja stb.) vizsgálni az értekezésben, de azt a területet teljes mélységig elmezní, majd megállapításokat tenni.
2. Az értekezés valós, reális adatokat tartalmaz. Megemlíteni szükséges azonban, hogy az értekezés számos helyen nem kalibrált koordináta-rendszerben tesz közzé függvényeket, amelyek kiértékelése e formába lehetetlen.
3. A doktorjelölt egyik fontos törekvése, hogy minimális mennyiségű érzékelő mellett is működőképes fedélzeti robotpilótát tervezzen, nem valósult meg eredményesen. Egyik repülőgépének számítógépes szimulációja – sztochasztikus gerjesztés esetén – instabil viselkedést mutatott, míg a TIRMO kísérleti repülőgépen csak néhány repülést hajtott végre

annak lezuhanásáig, így egyes funkciókat (pl. az irányszög stabilizálása) nem tudott tesztelni a jelölt.

4. A teljes állapot-visszacsatolású rendszerek fontos sajátossága, hogy a szabályozott repülési paramétereket (szögsebességek, szögek, egyenes vonalú mozgás gyorsulása és sebessége, lineáris elmozdulások, koordináták stb.) érzékelni, mérni kell. A tervező mozgásterét ebben az esetben az egyes érzékelők típusának megválasztására korlátozódik.


5. Ha a repülőgép valamely repülési paramétere közvetlenül nem mérhető, akkor dinamikus szabályozók segítségével, Kalman-szűrők alkalmazásával, digitális jelfeldolgozás segítségével az egyes repülési paramétereket becsülni szükséges. A Kalman-szűrő alapú dinamikus szabályozók tervezését számos számítógépes program támogatja.

6. A doktorjelölt másik fontos törekvése, hogy felhasználói oldalról közelítse az általa tervezett fedélzeti robotpilóta üzemeltetését, valamint szabályozójának hangolását, mindezt nem túlságosan magas szintű szabályozástechnikai ismeretek mellett, szintén eredménytelen maradt. Az elmaradt irányításméleti vizsgálatok miatt a jelölt úgy tervezett robotpilótát, hogy magáról az irányított szakaszból, vagyis az irányított repülőgép matematikai modelljéről semmiféle információval sem rendelkezett.

7. A „fekete doboz”-ként kezelt repülőgép nem szolgálhat alapul az automatikus repülésszabályozó rendszer megtervezéséhez, hiszen a jelölt által tárgyalt repülési paraméterek mellett még számos más feladatot is el kell látnia a robotpilótának (pl. csillapító automata funkciók megvalósítása, a dőlési és a bólintási szög stabilizálása, a siklópálya szög stabilizálása, lineáris gyorsulások korlátozása, állásszög korlátozása, útvonalrepülés automatizálása, kismagasságú terepkövetés, flare funkció, adaptív repülésszabályozó funkciók, aktív repülésszabályozó funkciók stb.). E feladatok végrehajtásához a repülőgép számos követelménynek kell eleget tegyen. Az első és alapvető követelmény, hogy a repülőgép irányítható, és a megfigyelhető legyen, valamint az egyes mozgásfajták irányításához a repülőgép kellő számú bemenő paraméterrel kell rendelkezzen.

8. Az automatikus repülésszabályozó rendszerek, robotpilóták tervezése során célszerű figyelembe venni a vonatkozó szabványokat is, amelyek egyértelműen meghatározzák a tervező mozgásterét. A szabályozási rendszerek előzetes tervezése nem a tervező által önkényesen meghatározott, hanem a vonatkozó szabványok által megadott keretek között történik.

Szolnok, 2005. április 2.


Dr. habil. Szabolcsi Róbert
felkért szakmai véleményező