



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar
Repülőgépek és Hajók Tanszék

Korody Endre

**Multifunkcionális, új generációs repü-
lésszimulátor kifejlesztése és
különböző kormányzási megoldások
vizsgálata**

Tézisfüzet

Témavezető: Dr. habil. Rohács József

BUDAPEST
2007

Bevezetés

Az első repülésszimulátort Edwin Albert Link építette 1929-ben [Nagel 1988] és jelképesen “kék doboz”-nak (Blue Box) nevezte el [Constantin 2000]. Az azóta eltelt több mint 75 év alatt a tudomány és a technika exponenciális fejlődésének köszönhetően ezek a berendezések is hatalmas elvi és műszaki kialakítások sorozatán mentek keresztül.

Napjainkban is rendkívül fontos szerepet töltenek be az elméleti és a kockázatmentes gyakorlati repülésoktatásban, valamint a tudományos kutatásban, és nem utolsósorban jelentős anyagi megtakarításokat is eredményeznek. Ismert tény, hogy egy új elvi vagy technikai megoldás bevezetése a repülésben harminc évet is igénybe vehet, mialatt szimulátorokon is tesztelik ezeket. Jelenleg a személyi számítógépek elérték azt a sebességet, memóriakapacitást, és grafikus teljesítőképességet, hogy a nagyon drága grafikus munkaállomások helyett használhatók, lehetővé téve ezáltal az alacsony költségű szimulátorok építését.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszéke az Oktatási Minisztériumnál sikeresen pályázott egy kutatási és fejlesztési repülésszimulátor kifejlesztésére, és a megépítés után egy új generációs, PC alapú berendezést tudhat magáénak.

A kutatás célja és a disszertáció összefoglalása

Közel nyolc évvel ezelőtt a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék munkatársai a Müncheni Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Repülés-szabályozás Tanszékével közösen elhatározták egy alacsony költségű, oktatási és kutatási célokra alkalmas repülésszimulátor építését. Feladatomból volt a szimulátor megtervezése, építésének vezetése, és alkalmazhatóságának bizonyítása. A doktori munkám céljaként a szimulátor tervezésekor a tudomány és technológia legújabb eredményeit felhasználva határoztam meg és specifikáltam a berendezést, valamint bizonyítottam az oktatási és kutatási célú alkalmazhatóságát. A szimulátor a legkorszerűbb elvek alapján készült és többnyire kielégíti a tervezett oktatási és kutatási feladatok követelményeit. A szimulátor egy különleges sajátossága, hogy a kapitány részére egy kormányoszlop, míg a másodpilóta számára egy sidestick-et építettünk be. Az elkészült fix bázisú szimulátor elsők között alkalmaz PC bázisú meghajtást, egycsatornás DLP projektorra épülő képmegjelenítést, integrált érintőképernyős ember-gép interfészt, integrált-monitoros műszermegjelenítést

(“glass cockpit” filozófia alkalmazás), demonstrációs és kutatási szoftverek együttes használatát.

A disszertáció első felében a repülésszimulátorok történelmi háttérével, általános ismertetésével, osztályozásával, céljaival és előnyeivel, valamint egyes rendszereinek bemutatásával foglalkozom. Szintén az első részben fogalmazom meg a szimulátor építés céljait, bemutatom a vásárolt eszközöket és szoftvereket, az építés folyamatát, valamint szakirodalmi áttekintést nyújtok a különböző kormányiszervek ergonómiájáról. A második részben megfogalmazom a mérési célkitűzéseimet és összefoglalom a fizikai, valamint szellemi terhelés mérésének alapját képező elektromiográfia, illetve a szívperiódus variabilitás elvét. Ez a rész tartalmazza a mérések leírását és az eredmények értékelését is.

Kísérleteim célja a szimulátor alkalmazhatóságának bizonyítása volt a kormányoszlop és a sidestick használatakor, a fizikai és szellemi terhelési mérések segítségével meghatározható előnyök és/vagy hátrányok vizsgálata alapján. A kísérletekben a pilótáknak különböző feladatokat kellett végrehajtani. A fizikai terhelések mérésekor műszeres leszállást végeztek a Budapest Ferihegyi repülőtérre, míg a szellemi erőfeszítés vizsgálatok két különböző, de azonos nehézségű útvonalon kellett végigrepülni. A kísérletekben a kiválasztott repülési változókat is rögzítettem és azokat statisztikailag elemeztem, értékelve a feladatok végrehajtásának pontosságát.

A fizikai terhelés mérését egy négycsatornás EMG készülékkel végeztem, a jeleket a Matlab program felhasználásával elemeztem, ami többnyire a jelek középfrekvenciájának vizsgálatából állt. A szellemi erőfeszítés mérésekor a szívperiódust az ISAX rendszerrel rögzítettem és az INTERFACE rendszerrel értékeltem ki. A mérés azon a tényen alapul, hogy a szívperiódus variabilitásban történő változásokat a kognitív erőfeszítés okozza.

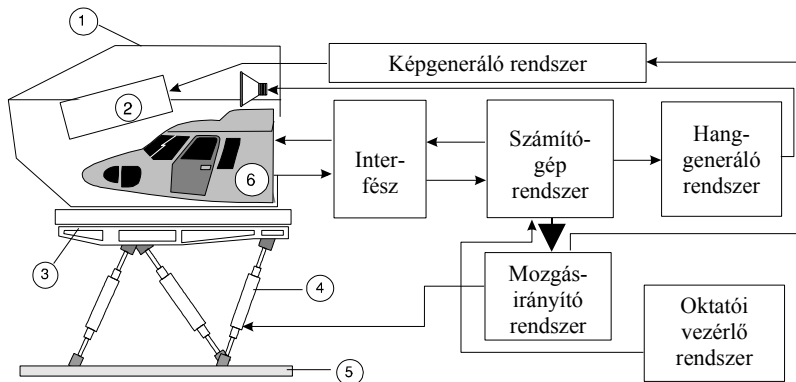
Az oktatási és kutatási igényeknek megfelelően elkészített repülésszimulátor egy sor multifunkcionalitást, rugalmasságot, és repüléstudományi, valamint multidiszciplináris kutatási lehetőséget biztosít a Repülőgépek és Hajók Tanszék számára, amit eredményesen ki is használ.

Az egyes fejezetek rövid tartalma

Az 1. fejezetben a teljesség igénye nélkül a repülésszimulátorok történelmével, általános ismertetésével, osztályozásával, céljaival és előnyeivel, rendszereinek (pilótafülke, képgeneráló és kivetítő, mozgató, hanggeneráló, számítógép és interfész, oktatói vezérlő) bemutatásával, valamint a szimuláció alapjaival foglalkozom.

Korody [2000] alapján bemutatom a repülésszimuláció alapjait képező mozgásegyenletek levezetését is.

Egy teljes repülésszimulátor általában a következő főbb elemekből épül fel: 1. a szimulátor burkolata, 2. képmegjelenítő rendszer, 3. mozgó platform, 4. mozgatórendszer, 5. fix platform, 6. repülőgép-vezető fülke.



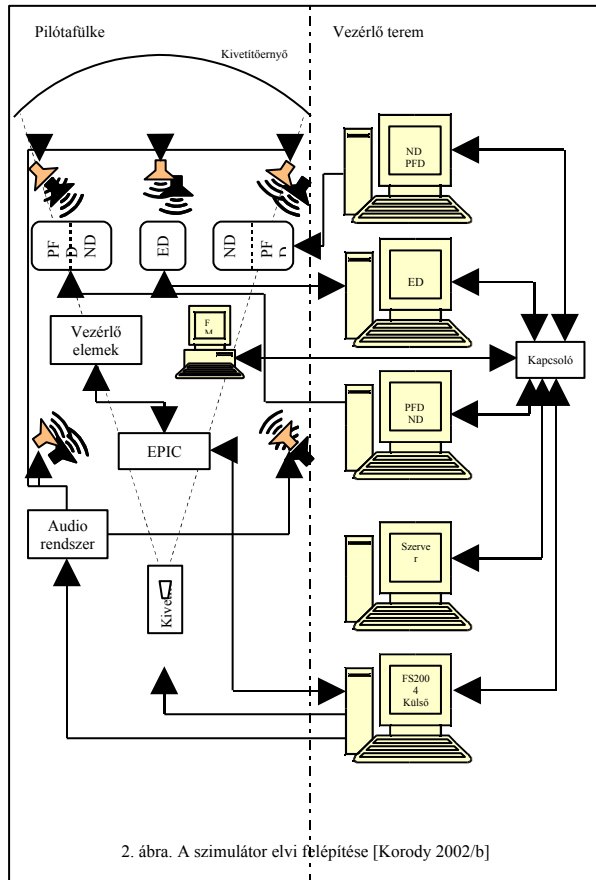
1. ábra. Teljes repülésszimulátor elvi felépítése
(Constantin [2000] nyomán, módosítva)

A nemzetközi előírásoknak megfelelő szimulátorok a következő előnyökkel rendelkeznek:

- ➔ a költségek jelentős csökkenése a valódi repülőgépen történő gyakorláshoz képest;
- ➔ különböző források megtakarítása, mint például üzemanyag, irányítórendszerek, stb.;
- ➔ az időjárástól és földrajzi elhelyezkedéstől való függetlenség;
- ➔ önértékelési lehetőség, azaz a képzettség “mérési” lehetősége;
- ➔ nagy hitelesség és “zéró” kockázat a különleges esetek megoldásában;
- ➔ rugalmasság a gyakorlóprogram összeállításában.

A 2. fejezetben megfogalmazom céljaimat, felsorolom az építéshez vásárolt eszközök és szoftverek többségét, valamint beszámolok a szimulátor építésének folyamatáról. Ezekon túlmenően szakirodalmi áttekintést nyújtok a különböző kormányiszervek ergonómiájáról is.

A három technológiai törvényre (Moore, Gilder, és Metcalfe) alapozva [Rohács 2004], több tervezési lépésben megalkottam a szimulátor elvi struktúráját, amely a 2. ábrán látható.



Az általunk épített repülésszimulátor legfontosabb előnyei az alábbiak:

- ➔ alacsony költségű (low cost);
- ➔ két különböző kormányzási elvet integrál magába;
- ➔ oktatásra, kutatásra, és fejlesztésre alkalmas;
- ➔ átkonfigurálható;
- ➔ adatbázisa módosítható és bővíthető;
- ➔ beépített érintőképernyőkkel rendelkezik;
- ➔ gyorsan átalakítható műszerrendszerrel rendelkezik a VAPS programnak köszönhetően;
- ➔ több szoftver futtatható rajta a kívánt alkalmazás típusától függően.

A 3. fejezetben, mérési célkitűzéseim megfogalmazása mellett egy összefoglalót nyújtok a fizikai terhelés mérésének alapját képező elektromiográfiáról (EMG), annak jelfeldolgozási lehetőségeiről, illetve a kísérleteim elvégzésével járó munkát, és annak eredményeit mutatom be.

Mindkét vizsgálatom egy kis elemszámú mintán (6) végzett exploratív, feltáró jellegű tanulmány (nincs konkrét előzetes hipotézis), amelynek célja a szimulátor kutatásra való alkalmazhatóságának bizonyítása. A mérések másodlagos célja volt, hogy választ keressek a kormányoszlop és a si-destick használatának előnyeire és/vagy hátrányaira.



3. ábra. EMG mérés közben

William [1992] azt írja, hogy az EMG egy olyan eszköz (analitikai módszer), amely nagyon értékes lehet az ergonómiai vizsgálatokban. Mark [1992] azt állítja, hogy a helyhez kötött izomfáradtság során az EMG jelben történő két leginkább emlegetett változás a frekvenciatartalom eltolódása az alacsonyabb értékek felé és az amplitúdó növekedése.

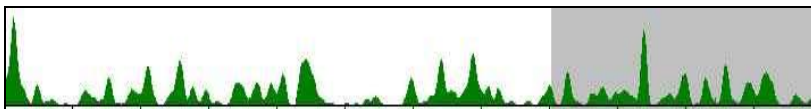
A felületi elektródákat a következő izmokra helyeztem el: csuklófeszítő, bicepsz, delta, és felső trapézizom. A mérések eredményei egyes pilóták esetében eltérő frekvenciaspektrumot adtak a két különböző kormányoszloppal való vezetés közben és így bizonyos feltételek mellett a módszer alkalmas e vezetési technikák összehasonlítására a fizikai terhelés mértékét illetően.

A 4. fejezet tartalmazza a szellemi terhelés mérésére vonatkozó szakirodalmi áttekintést, a szívperiódus variabilitás (SzPV) alapján végzett kísérleteim leírását, illetve ezek eredményeinek értékelését. A vizsgálatokat a BME Ergonómia és Pszichológia Tanszék segítségével végeztem.

Vetter [2003] azt állítja, hogy a szívritmus (SzR) vagy a SzPV spektrális analízise egy neminvaszív módszer és az autonóm idegrendszeri aktivitást tükrözi. Lehetővé teszi a szívre ható szimpatikus, illetve paraszimpatikus hatások szétválasztását, így betekintést enged az autonóm idegrendszer aktuális egyensúlyába. A módszer lényege, hogy egészséges embernél teljesen nyugodt körülmények között sem egyenletes a SzR, hanem úgynevezett kváziperiódikus ingadozásokat mutat. Normális körülmények között sajátos periodicitások figyelhetők meg a szívperiódus sorozaton. Láng [2004] is az

1960-as és 70-es években megjelent több tanulmányra hivatkozva (Kalsbeek és Ettema [1963], Luczak és Laurig [1973], Mulder és van der Meulen [1973], Rohmert és társai [1973]) azt állítja, hogy mentális terhelésnél, különösen döntést igénylő feladatok megoldásakor erősen csökken a SzPV.

A 4. ábra példaként a 3. számú pilóta SzPV görbét mutatja sidestick kormányszervvel való repüléskor, ahol az alacsonyabb érték nagyobb szellemi erőfeszítésre utal.



4. ábra. A 3. számú pilóta SzPV felvétele sidestick esetén

A szellemi terhelés mérése alapján is tapasztalható, hogy az egyes pilóták esetében eltérő SzPV görbe adódik a két különböző kormányszervvel való vezetés közben és így bizonyos feltételek mellett ez a módszer alkalmas a két vezetési technika összehasonlítására a szellemi erőfeszítés tekintetében.

A szimulátor sikeres megépítése és az azóta eltelt időszak tapasztalatai alapján elmondhatom, hogy sikerült elérni a kitűzött célokat. Beigazolódtott, hogy a PC alapú szimulátor építése és a DLP projektorok alkalmazása melletti döntés a lehető legjobb volt, hiszen így valóban egy alacsony építési és üzemeltetési költségű eszközt tudhat magáénak a tanszék. A két különböző típusú kormányszervnek egy szimulátorba való integrálásáról kijelenthetem, hogy nagy sikert aratott. A laborban látogatást tett hivatásos pilóták is elismerően nyilatkoztak a berendezésről.

Tézisek

Munkám során a következő új eredményekre jutottam:

1. A digitális technológiák fejlődését és változásának előrejelzését, valamint az alkalmazható eszközök (szoftver és hardver) körét megvizsgálva, az oktatási és kutatási igényekből kiindulva, meghatároztam egy repülésszimulátor hardveres és szoftveres minimumfeltételeit, struktúráját, és támogatásigényét.

- 1.1. Megállapítottam, hogy az oktatási és kutatási szimulátorok esetében elégséges a 2D kivetítőrendszerek alkalmazása, nem szükséges mozgatórendszert és eredeti műszereket használni, viszont biztosítani kell a multifunkcionalitást (műszerkijelzés átkonfigurálhatósága, repülőgép modell, terepviszonyok, és repülési körülmények – pl. időjárás viszonyok – módosíthatósága), és a repülési adatgyűjtés lehetőségét.
 - 1.2. Meghatároztam a szimulátor struktúráját.
 - 1.3. Megállapítottam, hogy egy oktatási és kutatási szimulátor támogatási igénye hardver szinten önálló feladatokat ellátó PC-k (képgenerálás, műszerkijelzés generálás, repülőgép-modellfuttatás, stb.) hálózatba történő kapcsolását, szoftver szinten a konkrét oktatási, kutatási igényekhez igazodó konfiguráció meghatározását (Microsoft Flight Simulator, FLSIM, VAPS, MATLAB, stb.), és egyéb speciális igények kielégítését (pl. érintőképernyős alkalmazások, különböző kormányzási megoldások alkalmazása) jelenti.
2. Innovációelméleti alapokból kiindulva, a technológiai előrejelzési programok ismeretében, és a technológiai fejlődést meghatározó törvényszerűségeket alkalmazva megterveztem az új generációs oktatási és kutatási célú repülésszimulátort, amit vezetésemmel a tanszék munkatársaival közösen elsők között meg is építettünk.
 - 2.1. Az új generációs oktatási és kutatási szimulátor alacsony építési és üzemeltetési költségeit a fix bázisú megoldás, a PC alapú támogatottság, az egysatornás 2D kivetítőrendszer, valamint Magyarországon elsőként alkalmazott szoftverek (FLSIM, VAPS) használata által értem el.
 - 2.2. Az oktatási és kutatási igényeknek megfelelően elkészített repülésszimulátort úgy terveztem meg, hogy számos multifunkcionalitást, rugalmasságot, és repüléstudományi, valamint multidiszciplináris kutatási lehetőséget biztosítson (pl. érintőképernyő; integrált műszerkijelzés VAPS gyors prototípustervezéssel; MATLAB vagy FLSIM és FS képgenerálás összekapcsolása; tolóerővektor vezérlésű UAV esetében különböző szabályzórendszerek használatának vizsgálata; főtartóban ébredő feszültségek számolása repülés közben a szimulációhoz kapcsolt végeselem modul felhasználásával; stb.).
 - 2.3. Az oktatási és kutatási célra elkészített szimulátor különös sajátossága, hogy javaslatomra egyedülálló módon egy kabinba két eltérő repülőgép-vezetési rendszert építettünk be (baloldalon hagyományos kormány szerv – Boeing megoldás, jobb oldalon si-

destick – Airbus megoldás), amely lehetőséget teremt a különböző repülőgép-vezetési megoldások széleskörű, multidiszciplináris vizsgálatára (pl. egyidejű ergonómiai és repüléstechnikai).

3. Az elkészített oktatási és kutatási célú új generációs szimulátor alkalmazási lehetőségét tesztelve, EMG (elektromiográfia) mérések alapján vizsgáltam a két különböző típusú kormány szerv használata során a pilótákat érő fizikai és szellemi igénybevételeket.
 - 3.1. Az izmokról rögzített EMG jelek középfrekvenciáinak elemzéséből megállapítottam, hogy a pilóták fizikai fáradása különbözik a kormányoszlop és a sidestick alapú vezetések esetén (további vizsgálatokat igényel ezek térbeli elhelyezésének hatása a fizikai terhelésre).
 - 3.2. Vizsgálataim alapján, szigorúbb kísérleti körülmények között a módszert alkalmasnak találom a kormányoszlop és a sidestick használata közben fellépő fizikai terhelések összehasonlítására.
 - 3.3. A repülési változók abszolút hibáinak statisztikai elemzése alapján nem találtam szignifikáns különbséget a pilóták teljesítőképességében a két különböző kormány szervvel való repüléskor.
4. Pilóták szellemi terhelésének mérését alkalmaztam a két különböző repülőgép-vezetési megoldás összehasonlítására, a szimulátor alkalmazási lehetőségének vizsgálata céljából.
 - 4.1. A szívperiódus variabilitás elemzéséből megállapítottam, hogy különbség észlelhető a repülőgép-vezetők szellemi erőfeszítésének mértékében a kormányoszlop és a sidestick használata során.
 - 4.2. A kísérletek alapján megállapítottam, hogy megfelelő mérési feltételek biztosítása esetén a módszer alkalmas a két különböző kormány szervvel való vezetés közben fellépő szellemi terhelés összehasonlítására.
 - 4.3. A szellemi terhelésre vonatkozó mérések kapcsán is elvégeztem a repülési változók abszolút hibáinak statisztikai elemzését, ami alapján nem találtam szignifikáns különbséget a pilóták teljesítőképességében az egyik vagy másik kormány szerv használatakor.

Hivatkozások

- Constantin 2000 Constantin, O., *Simulatoare de zbor și tehnici de simulare*, Curs universitar, Universitatea Politehnica București, Facultatea de Aeronave, 2000.
- Korody 2000 Korody Endre, *Considerații privind zborul autonom al avionului fără pilot IAR-T, sinteza sistemului de comandă, evoluții programate*, Facultatea de Inginerie Aerospațială, Universitatea Politehnica București, 2000.
- Láng 2004 Láng Eszter, *A szívperiódus variancia (SzPV)*, <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziologia/Micro-soft%20Word%20-%2001szpv.pdf>
- Mark 1992 Mark Redfern, *Functional Muscle: Effects on Electromyographic Output (Chapter 6)*, Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives, U.S. Department of Health and Human Services, March 1992, <http://humanics-es.com/SelectedTopicsEMGsNIOSH.pdf>
- Nagel 1988 Nagel, D. C., Wiener, E. L., *Human Factors in Aviation*, Academic Press, 1988.
- Rohács 2004 Rohács J., Gáti B., *Innovációs folyamatok kezelése a lámpagyártás és kereskedelemben*, Kutatás-fejlesztési tanulmány, II. kötet, *A fényforrás és megvilágítás technológiák fejlődése*, BME, Budapest, 2004.
- Vetter 2003 R. Vetter, N. Virag, P. Renevey, J. Krauss, *Robust Extraction of Autonomous Nervous Profile using a Non-Invasive Method*, Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 216, Cancún, México, September 17-21, 2003.
- William 1992 William Marras, *Overview of Electromyography in Ergonomics (Chapter 1)*, Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives, U.S. Department of Health and Human Services, March 1992, <http://humanics-es.com/SelectedTopicsEMGsNIOSH.pdf>

A témában született jelentősebb publikációk

- Korody Endre Korody, *Systems of Flight Simulators*, Periodica Polytechnica, Transportation Engineering, Budapest University of Technology and Economics. Under issue.
- Korody 2002/b E. Korody, *Flight Simulator of the Department of Aircraft and Ships at the Budapest University of Technology and Economics*, Proceedings of the 8th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, pp. 531-536, Budapest, 2002.
- Korody 2003/a E. Korody, *Human Factor Examination Possibilities on Flight Simulators*, Proceedings of the International Conference: Modern Technologies in the XXI Century, pp. 55-61, Bucharest, 2003.
- Korody 2004/a Korody, E., *Repülésszimulátor az oktatás és kutatás szolgálatában a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen*, RODOSZ Tanulmányok 2003, II Természeti és Műszaki Tudományok, 148-155 oldal, Kriterion Könyvkiadó, Kolozsvár, 2004.
- Korody 2004/b Korody Endre, Gáti Balázs, Patyi Balázs, Rohács József, *Repülés-szimulátor az oktatásban és kutatásban*, GÉP, LV. Évfolyam, 2004/12., <http://gép-ujtag.fw.hu>
- Korody 2005/c Endre Korody, Krisztina Bali, *Pilots' mental effort examination on flight simulator using HPV measurements*, The 6th Conference of the Union of Hungarian Ph.D.-students and Young Researchers from Romania, Kolozsvár, 18-19 March 2005. Under issue.
- Korody 2006/a Korody Endre, Rohács József, Sikolya László, Szilágyi Dénes, Bali Krisztina, *Repülésszimulátorok a magyar közlekedésmérnöki képzésben*, 30-ik Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, Gödöllő, 2006 január 24., Második kötet, 249-252 oldal.

Budapest, 2007-09-03

.....

Korody Endre