

2013. 11. 04.

GAÁL
DIÁNA
F090RT

DÖNTÉSTÁMOGATÓ RENDSZEREK A REPÜLÉSBEN



Döntéstámogató rendszerek | 2013-2014 I. félév

Bevezető

A dolgozat célja, hogy bemutassa a repülőgépek robotpilótájának működését, azt a számítógépes rendszert, melynek segítségével a repülő el tud jutni egyik helyről a másikra, illetve azt, ami segíti a pilótákat, hogy elkerüljék a légi baleseteket.

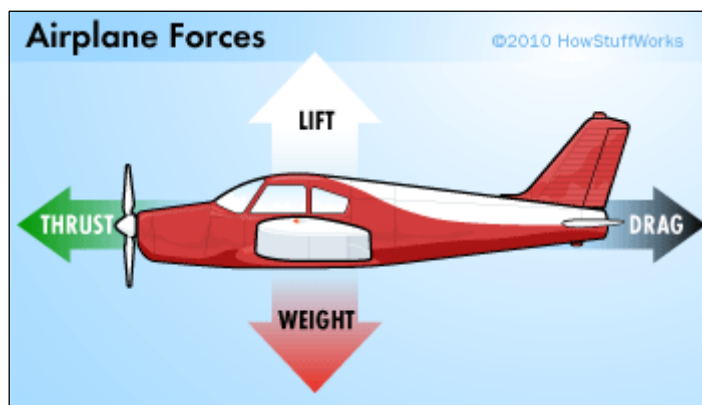
Egy adott pillanatban 5000 repülőgép cikázik csak az Egyesült Államok légterében. Ha ehhez hozzávesszük a Földgolyó többi részét, arra a következtetésre jutunk, hogy szinte kiszámolhatatlan, mennyi repülő található az égen egyszerre. A modern repüléshez szükség van tehát számítógépes támogatásra.

1933-ban Wiley Post volt az első ember, aki egyedül repült. Az egyik titka az volt, hogy robotpilótát használt, ami kormányozta a gépet, amíg ő pihent. Ez segítette abban, hogy 7 nap, 18 óra és 49 perc repülési idő alatt merevszárnyas repülővel körberepülje a Földet, ami 21 órával kevesebb, mint amennyire 2 évvel azelőtti rekordja felállításához Harold Gatty navigátorral szüksége volt.[1] Napjainkban a robotpilóta egy olyan kifinomult rendszer, amely mindazokat a feladatokat el tudja végezni, mint egy magasan képzett pilóta. Sőt, néhány rutint és eljárást jobban, mint az ember – hatékonyabbá és biztonságosabbá téve így a repülést.

A repülőgép

A repülőgép olyan, a levegőnél nehezebb közlekedési eszköz, mely az atmoszférában halad, merev felületei és a levegő reakcióerejéből keletkező felhajtóerő segítségével a repülési magasság és irány megváltoztatására és megtartására képes motor vagy hajtómű segítségével. A felhajtóerő keltéséhez szükséges sebességet a légszárny vagy sugárhajtómű vonó- illetve tolóereje, motor nélküli gépeknél a gravitáció, vagyis a levegőhöz, mint repülési közeghez viszonyított lejtőpálya biztosítja.[1]

Hogyan repül a repülő?



1. ábra – A repüléshez kapcsolódó 4 aerodinamikai fogalom

Ahhoz, hogy megértsük, hogy a nehéz repülőgépek hogyan képesek repülni, szükségünk van 4 alapvető aerodinamikai fogalom tisztázására: tolóerő, súrlódás, emelkedés és süllyedés. Elképzelhetjük ezeket úgy, mintha 4 kéz tartaná a repülőgépet a levegőben és mindegyik más irányba tolná.

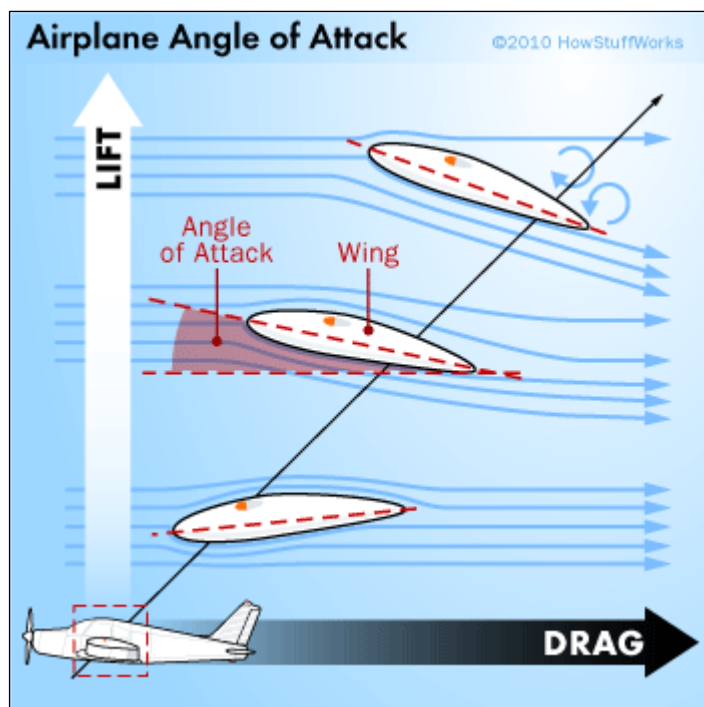
Tolóerő (angolul: thrust): akár légszárny, akár hajtómű okozza: ez az

erő tolja vagy húzza a repülőt előre a levegőben. Ennek az erőnek az ellenkezője a súrlódás

vagy légellenállás (angolul: drag), ami ellenáll egy tárgy mozgásának. Az utasszállító repülőgépek felszállás után mindig visszahúzzák futóművüket, hogy ezzel is csökkentsék a légellenállást. Ahhoz, hogy a repülő repüljön, a tolóerőnek nagyobbnak kell lenni a légellenállásnál. Ha bármilyen okból a súrlódás nagyobb, mint a tolóerő, a gép elkezd lelassulni, ha azonban kisebb, gyorsulni fog.

A Földön mindennek van súlya (angolul: weight), amit a tömege és a rá nehezedő gravitációs erő határoz meg. Például a Boeing 747-8-as utasszállító repülőgép maximális felszállási súlya 442 tonna, vagyis ekkora erő vonzza a repülőt a Föld felé. Ennek az erőnek az ellentéte a felhajtóerő (angolul: lift), ami fenntartja a repülőt a levegőben. Ehhez van szükség a szárnyakra. A repülőgép szárnya úgy van kialakítva, hogy a felette levő levegő gyorsabban mozogjon, mint az alatta levő. Amikor a levegő áramlása közben akadályba ütközik (például a hirtelen megváltoztatott állásszögű szárnyba), az útja leszűkül, és áramlási sebessége megnő. Miután az akadály elhárult az út újra kiszélesedik és az áramlás lelassul. Mivel a levegő felgyorsul, a nyomása lecsökken. Vagyis, a gyorsabban haladó levegő a szárny felett kevesebb nyomást gyakorol rá, mint a szárny alatt lassabban mozgó levegő.

Hogyan fordul egy repülőgép a levegőben? Hogyan emelkedik és süllyed?



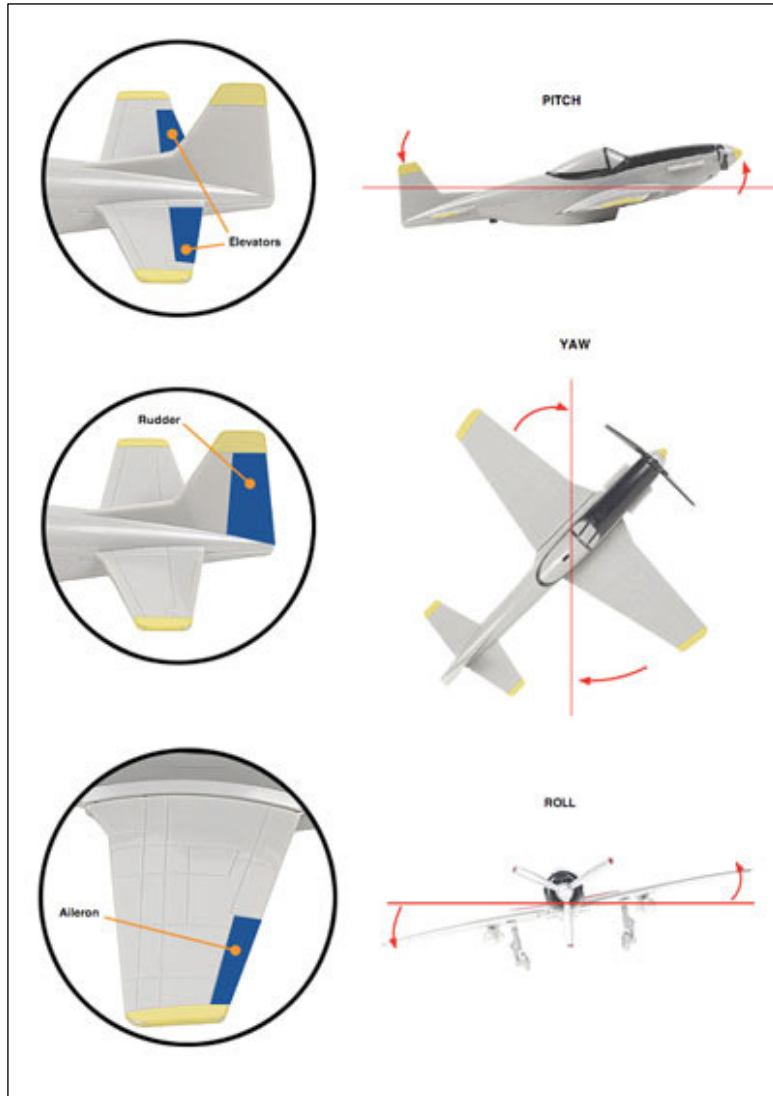
2. ábra – A repülőgép állásszöge

Az állásszög vagy támadási szög (angolul: angle of attack), az a szög, amit a szárny (angolul: wing) a beáramló levegővel bezár. Minél nagyobb ez a szög, annál jobban emelkedik a repülő. Érdekes módon, a repülőnek könnyebb emelkednie, mint fix magasságon repülnie. Egy tipikus szárnynak negatív szögben kell állnia ahhoz, hogy elérje a nulla emelkedést. Ez a pozíció azonban több súrlódást generál, ami nagyobb tolóerőt igényel.

A fékszárnyaknak (angolul: flaps) (az elülső szárny hátsó részén) több szerepe is van. Egyrészt, ahogy a nevük is mutatja, növelik a légellenállást, fékezik a gépet, másrészt növelik a

szárnyfelületet is, ezzel pedig a felhajtóerőt, harmadrészt a szárny íveltségét növelik, ami által a repülő lassabb sebességgel is képes repülni. A felhajtóerő nagysága négyzetesen függ a sebességtől. Így aztán, ha a gép lassan megy (felszállás, landolás közben), akkor meg kell nö-

velni a szárnyfelületet – ezzel együtt a felhajtóerőt – ahhoz, hogy a repülő a levegőben maradjon.



3. ábra – A repülő irányítása

A repülőgép farkán két fajta kis szárny található, a vízszintes és a függőleges stabilizátorok. A pilóta ezeket a felületeket használja, amikor meghatározza a repülő irányát. Mindkét stabilizátor szimmetrikus szárnyrész. A vízszintes fékszárnyakat magassági kormányoknak (angolul: elevator) hívják, ami segíti a repülőt a fel-le mozgásban, amikor az a levegőben van. Ezek a szárnyak változtatják meg a vízszintes stabilizátor állásszögét, ezáltal megemelve a gép farkát (ilyenkor a gép orra lefele mutat) vagy süllyesztve azt (ekkor az orr felfele mutat). A repülőnek ezt a fajta mozgást nevezik bólintásnak (angolul: pitch). A függőleges vezérsíkon található fékszárnyakat oldalkormányoknak (angolul: rudder) nevezik, ami a balra és jobbra fordulásért felel. Ezt a mozgást nevezik kitérésnek (angolul: yaw). Végül, a gép szárnyának végénél találhatóak

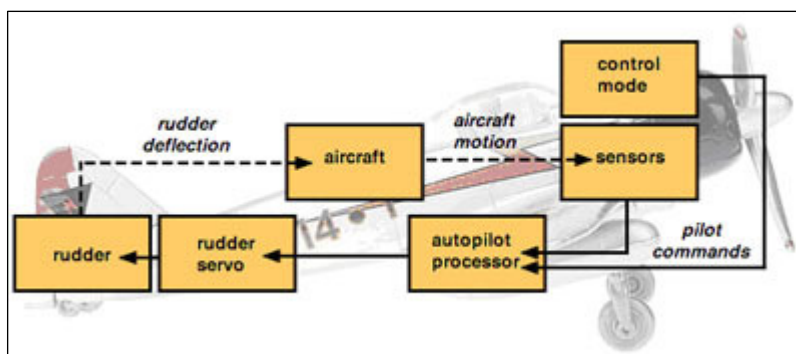
a vízszintes fékszárnyak, a csűrőlapok (angolul: aileron). Ezeknek a lapoknak a segítségével lehet az egyik szárnyon több felhajtóerőt generálni, mint a másikon, ami lehetővé teszi a gép bedöntését (angolul: roll) balra vagy jobbra. A csűrőlapok általában egymással ellentétesen mozognak, vagyis amikor a bal oldali felfele tér ki, akkor a jobb oldali lefele és fordítva.[3]

A robotpilóta

A robotpilóta vagy automata pilóta (angolul: autopilot) olyan eszköz, mely űrhajók, repülőgépek, vízi járművek, rakéták és egyéb járművek emberi beavatkozás nélküli vezérlésére hivatott eszköz. A repülés világában ezt az eszközt automata repülésirányító rendszernek, röviden *AFC*S-nek (Automatic Flight Control System) nevezik. Az *AFC*S része a repülő repüléselectronikai berendezéseinek, olyan elektromos rendszereknek, melyek vezérlése kulcsfontosságú része a repülőnek és magának a repülésnek is. A repüléselectronikai rendszerek magukban foglalják a repülésirányító rendszereken kívül a kommunikációs, navigációs, ütközésselkerülő és időjárásjelző készülékeket. A robotpilóta kezdeti célja az volt, hogy támogatást nyújtson a pilótáknak a hosszú, unalmas utazások alatt. A mai fejlett rendszerek azonban ennél jóval többet tudnak, még nagyon precíz manővereket is képesek végrehajtani, mint például leszállítani a repülőgépet nulla látási viszonyok között.

A robotpilóta vezérelheti az összes, az előbbieken felsorolt vezérlő felületet (a vízszintes és függőleges stabilizátorokat, illetve a csűrőlapokat). Az egytengelyes robotpilóta (angolul: single-axis autopilot) csak egy felületet vezérel, általában a csűrőlapokat. Ezt az egyszerű típust „szárny szintezőnek” (angolul: wing leveler) nevezik, mert a gördülő mozgás vezérlésével tartja a szárnyakat egymáshoz képest egyenletesen. A kéttengelyes robotpilóta a magassági kormányt és a csűrőlapokat irányítja, a háromtengelyes pedig ezek mellett az oldalkormányt is.

Egy modern automata repülésirányító rendszer lelke a számítógép, több nagy sebességű processzorral. Ahhoz, hogy összegyűjtse a szükséges információkat a repülő ellenőrzéséhez, a processzorok kommunikálnak a fő vezérlő felületeken található érzékelőkkel, szenzorokkal. A repülő többi rendszeréből is képesek információt kinyerni, mint a giroszkóp, gyorsulásmérő,



4. ábra – Az oldalkormány irányítása

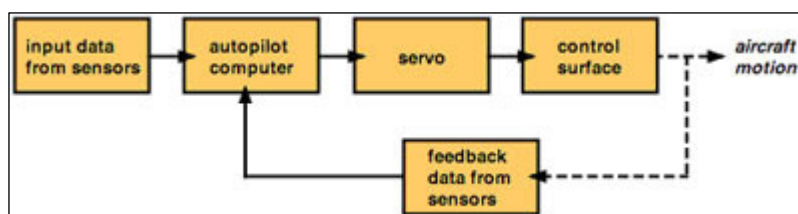
magasságmérő, iránytű és sebességmutatók. A processzorok, miután hozzájutottak a megfelelő adatokhoz, bonyolult számítások segítségével hasonlítják össze ezeket az adatokat a vezérlési utasításokkal (angolul: control mode). Ezeket az utasításokat, melyek

részletesen meghatározzák a repülést (útvonalat, érintendő pontokat, magasságkorlátot, stb.) a pilóta kézzel adja meg. A processzorok jeleket küldenek a különböző szervomechanikus (szervo) egységeknek, olyan eszközöknek, amik biztosítják az irányítást távolról is. Minden vezérlőfelülethez tartozik egy szervo. A servók figyelembe veszik a számítógép utasításait és

motorokat vagy hidraulikát használnak, hogy elmozdítsák a repülő vezérlőfelületeit, biztosítva, hogy a gép megtartsa a megfelelő irányt.

A 4. ábrán az oldalkormány irányítása látható, a többi vezérlőfelületet is hasonlóan irányítja a robotpilóta. A robotpilóta alapvető sematikus ábrája úgy néz ki, mint egy hurok, szenzorokkal, amik adatokat küldenek a számítógépbe. A számítógép feldolgozza azokat és továbbítja a jeleket a szervókhoz, amik megmozdítják a vezérlőfelületeket, amivel megváltozik a repülőgép állása. Ez a változás új adatsort hoz létre a szenzorok számára és ezzel az egész folyamat előlről kezdődik. Ez a fajta visszacsatolás központi szerepet tölt be a robotpilóta működésében. A vezérlésben látható negatív visszacsatolási hurok (angolul: negative feedback loop) akkor jelentkezik, ha egy folyamat eredményét befolyásolja magának a folyamatnak a működése.

Nézzünk egy példát, amelyben a pilóta aktiválta az egytengelyű robotpilótát:



5. ábra – Robotpilóta vezérlési rendszer

1. A pilóta beállítja a vezérlési parancsokat, hogy a robotpilóta a szárnyakat vízszintes helyzetben tartsa.
2. Azonban még a legegyszerűsebb légmozgás mellett is egy idő után a szárny állásszögétől a repülő süllyedni kezd, szükség lesz a szög módosítására.
3. A szárnyon levő helyzetérzékelők felismerik ezt a változást és jelet küldenek a robotpilóta számítógépéhez (angolul: autopilot computer).
4. A számítógép feldolgozza az adatokat és megállapítja, hogy a szárnyak nem állnak vízszintesen.
5. A számítógép jelet küld a szervóknak, amik vezérlik a repülő magassági kormánylapjait. A jel egy speciális parancs, amely megmondja a szervónak a pontos beállítást.
6. Minden szervónak van egy kis elektromos motorja, amely csúszó kuplunggal van ellátva, ami egy kantárkábel segítségével a csűrőlapok kábeléhez csatlakozik. Amikor a kábel elmozdul, a vezérlő felületnek ennek megfelelően kell mozdulnia.
7. Ahogy a csűrőlapok a bemeneti adatoknak megfelelően beállításra kerülnek, a szárny visszaállítódik vízszintes állásba.
8. A robotpilóta számítógépe eltávolítja a magassági kormánylap mozgatási parancsot, amint a helyzetérzékelők azt mutatják, hogy a szárny újra vízszintes helyzetben van.
9. A szervók megszüntetik a nyomást a csűrőlapok kábeleiben.

Ezen a cikluson jól látszik, hogy a számítógép folyamatosan dolgozik, a ciklus másodpercenként többször lefut, sokkal gyorsabban és simábban, mint ahogy egy emberi pilóta képes lenne rá.

A robotpilóta is képes azonban hibázni. Gyakori például a szervó hiba, ami általában rossz szervó motor vagy rossz kapcsolat miatt áll elő. A helyzetérzékelő is tud hibázni, rossz adatot küldve a számítógéphez. A robotpilóta olyan hibaellenőrző rendszerrel van ellátva, aminek segítségével meg tudja állapítani saját magáról, ha hibásan működik. Szerencsére a robotpilótát pilótával rendelkező repülőkhöz tervezték, így a robotpilótával nem adódhat olyan hiba, amit a személyzet hatékony beavatkozása ne tudna kijavítani.[4]

Navigáció (VOR/DME)

A műszeres repülés lényege, hogy valamihez képest meghatározható legyen a gép aktuális helyzete. A repülés hőskorában a pilóták kizárólag vizuális pontok és mágneses iránytű alapján tájékozódtak. Idővel nőttek a távolságok, szükség volt valami pontosabb eszközre. Az eszköz a nem (rádió) irányjeladó (angolul: Non-Directional (radio) Beacon – NDB) adó lett, mely tulajdonképpen egy földön telepített rádióadó, ami irányt mutat de távolságot nem. Az útvonalakat ezen rádióadók mentén repülték le. A navigátor beállította a következő adó frekvenciáját majd az antennát kézzel forgatva megkereste milyen irányban található az adó. Ezt az irányt aztán továbbadta a pilótának, aki ráfordult. Ahogy közeledtek az adóhoz, úgy pontosították az irányt. Ez szélcsendben elég egyszerű volt, de az ugye meglehetősen ritka esemény, hogy utazó magasságon semmilyen szél nem fúj, így a szélllel is számolni kellett.

Ahogy sokasodtak a repülőjáratok, szükségessé vált az egyre pontosabb repülés, kialakították a légifolyosókat. Szükség volt egy olyan adóra, amit meg lehet pontosan közelíteni egy adott irányból. Ekkor született meg az Ultrarövid-hullámú körsugárzó rádió irányadó, röviden *VOR* (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range) adó. Az adótorony *URH* (ultrarövid-hullámú) rádiófrekvenciát használ 108 és 117.95 MHz között. Az Egyesült Államokban fejlesztették ki 1937-ben és 1946-ban telepítették az állomásokat. Ma a sztenderd légi navigációs rendszer a világon, körülbelül 3000 állomással.

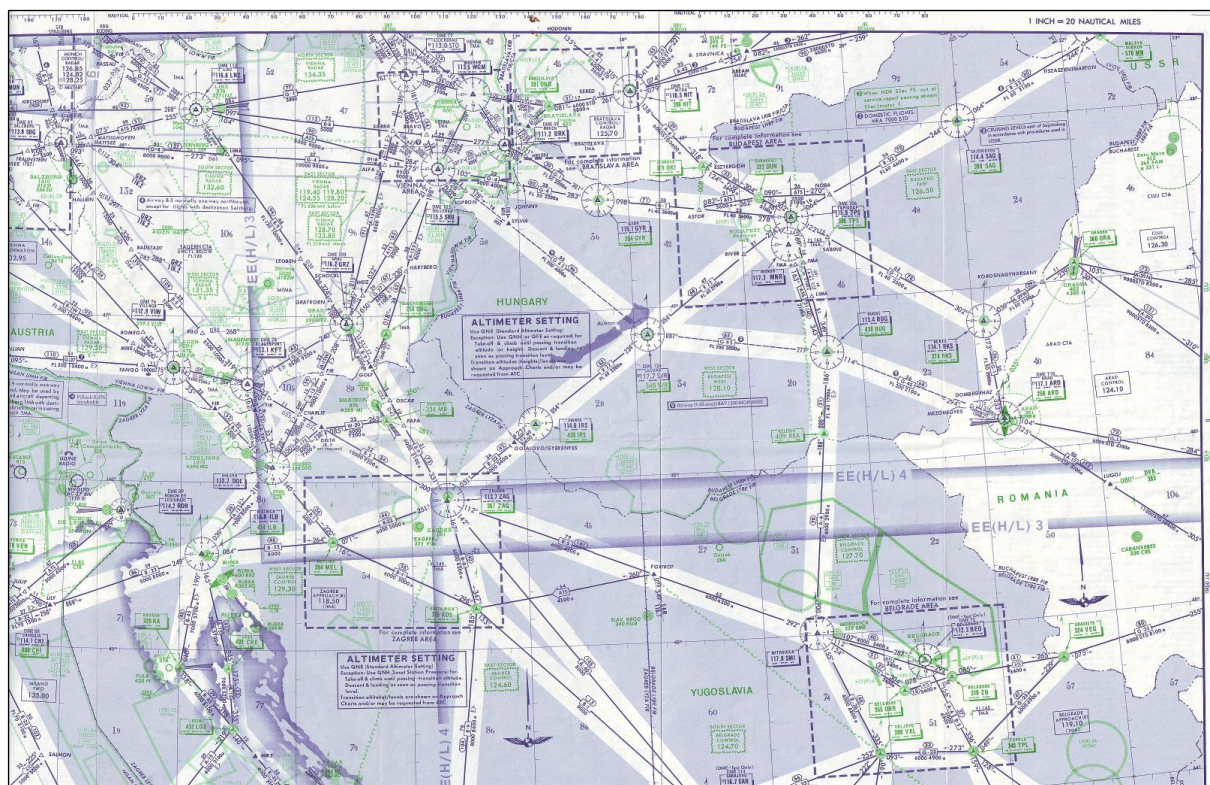


6. ábra – VOR/DME földi állomás Pekingben

A VOR állomás működése

A VOR földi állomás kiküld egy körsugárzó jelet (omnidirectional), ami minden irányban egyforma jelerősséggel terjed és egy olyan másodlagos jelet, melynek a fázisa másodpercenként 30-szor van megváltoztatva a körsugárzó jelhez képest. A másodlagos jel időzítve van, a fázis úgy változik, ahogy a másodlagos antenna forog, vagyis amikor az antenna 90° -ra van északtól, a fáziseltérés is 90° a körsugárzó jelhez képest. Azzal, hogy a körsugárzó jelet és a másodlagos jelet összehasonlítjuk, az állomás iránya meghatározható.

A VOR állomások hagyományosan kereszteződések a légi közlekedésben. Egy repülő általában ezen állomások között közlekedik, egyenes vonalban. Amikor egy utasszállító repülő repül észrevehető, hogy egyenes vonal mentén közlekedik, ami néha megtörik, amikor a menetirány megváltozik. Ezek a változások általában akkor történnek, amikor a repülő elhaladt egy VOR torony felett.[5]



7. ábra – Szigorúan betartandó légifolyosók Magyarország felett az 1970-es évek végén

A képen jól látszanak a folyosók kereszteződéseként a VOR állomások

A DME állomás működése

A távolságmérő berendezés, röviden *DME* (Distance Measuring Equipment) egy transzponder¹ alapú navigációs technológia, ami ferde távolságot mér. A repülőgép sugároz egy impulzus sort 960-1200 MHz között, majd méri a jel visszatéréséig eltelt időt. A jel 12,36 milliszekundum alatt tesz meg egy tengeri mérföldet. Általában a VOR jeladók mellé telepítik, azzal megegyező frekvencián sugároznak, így a megfelelő frekvencia behangolásával irányt és távolságot is kapunk (ha a VOR frekvenciát állítjuk, azzal együtt a DME frekvencia is hangolódik, az előbbi 108-117 MHz között, az utóbbi 900-1200 MHz között). Ha esetleg a VOR adó mellé nincs DME telepítve, akkor két közelünkben levő VOR irányszög metszéspontjából is meghatározható a pozíció. Egy tipikus DME transzponder egy időben kb. 100 repülőnek tud távolsági információkat nyújtani.[6]

¹ Transzponder: egy válasz-jeladó (transmitter-responder) berendezés a repülőn, magasságmérésre illetve a repülő azonosítására használják.

Balesetek elkerülése – TCAS

Az európai légtérben az összeütközés valószínűsége a levegőben $2.7 \cdot 10^{-8}$, ami azt jelenti, hogy 3 évente 1 ütközés történik a levegőben. A forgalmi figyelmeztető és ütközés-elhárító rendszer, röviden *TCAS* (Traffic Alert and Collision Avoidance System) egy olyan rendszer, aminek a célja, hogy azonosítsa és csökkentse a kockázatát két repülő összeütközésének a levegőben (angolul: mid-air collision). Forgalom kijelzést, riasztásokat, döntési tanácsokat ad a személyzet számára, hogy javítsák helyzetüket. Figyeli a légteret a repülő körül, más, megfelelő aktív transzponderrel ellátott repülőket jelezve, függetlenül a légiforgalmi irányítástól. Figyelmezteti a pilótát más transzponderrel felszerelt gépek jelenlétére, amik veszélyt jelenthetnek.

A levegőbeli összeütközések kockázata az 1950-es években igencsak megemelkedett, mivel a légi forgalom folyamatosan nőtt. Légiforgalmi irányítási rendszer (angolul: Air Traffic Control – ATC) és gyors fejlesztés vált szükségessé. végül a Szövetségi Légi Igazgatás (angolul: Federal Aviation Administration – FAA) 1993-ban tette kötelezővé a TCAS használatát az amerikai légtérben. A TCAS-nek két változata létezik, a TCAS I és a TCAS II. A TCAS I-et elsősorban az általános légi közlekedésben használják és a kistérségi légitársaságoknál, míg a TCAS II-t használja a legtöbb kereskedelmi légitársaság. Az FAA kötelezővé teszi a TCAS II használatát azokon a repülőgépeken, melyek 30-nál több férőhellyel rendelkeznek, vagy a súlyuk több mint 15000 kg.

Hogyan működik a TCAS?

A TCAS és a transzponder² elválaszthatatlanul összekapcsolódik. A TCAS lekérdezi más repülők működő transzponderjeit, elemzi a válaszokat és jelzi azok helyzetét és útvonalát. A repülő tetején és alján irányérzékeny antennák foglalnak helyet, melyek segítségével meghatározható a másik repülő távolsága, iránya és sebessége. Ezen adatok ismeretében a TCAS kiszámítja a másik repülő pozícióját és tervezett repülési útvonalát. Ha a másik repülő transzponderjétől elérhető magassági információ, a TCAS abból kiszámolja a magasságát és függőleges sebességét. Végül forgalmi javaslatokat, *TA*-kat (Traffic Advisory) és döntési tanácsokat, *RA*-kat (Resolution Advisory) ad arra nézve, hogy hogyan kerülhető el egy esetleges ütközés a levegőben.

² A transzpondereknek 3 fajtája használatos a polgári repülésben:

- Mode A, ami továbbít egy négyjegyű „squawk” kódot (transzponder kódot), amit a légiforgalmi irányítás (ATC) használ a repülő azonosítására
- Mode C, ami ezen felül magassági adatokat is továbbít, ami az ATC és a TCAS számára is elérhető
- Mode S, ami a Mode A és a Mode C összes funkcióját tartalmazza és még további jellegzetességeket – megnövelt pontosság és kommunikációs adatkapcsolat, amit a TCAS II használ, hogy koordinálja a döntési tanácsokat két gép között

A forgalmi javaslat hallható és látható (hangos és vizuális) riasztás, ami felhívja a repülő személyzetének figyelmét a közeledő forgalomra. A közeledő forgalmat a navigációs kijelzőn (angolul: Navigation Display – ND) jeleníti meg. Segíti a pilótát és előkészíti az esetleges döntési tanácsokat.



8. ábra – A Resolution Advisory vizuális figyelmeztetése az elsődleges kijelzőn és a navigációs kijelzőn

A döntési tanács – az RA által ajánlott manőver, ami növeli vagy fenntartja a meglevő függőleges távolságot két gép között. Szintén hallható figyelmeztetést ad és megjeleníti az ajánlott manővert az elsődleges repülési kijelzőn (angolul: Primary Flight Display – PFD).

A 8. ábra bal oldalán látható az elsődleges repülési kijelző, ahol az RA jelzi a pilótának a megfelelő manővert. A közepén látható piros trapéz és a jobb szélén levő piros sáv figyelmezteti a pilótát, hogy a jelenlegi magasságnál ne haladjon alacsonyabban, mivel ott egy másik repülő található. A jobb oldalon látható navigációs kijelzőn a fehér háromszög a mi repülünk, körülötte a pontozott kör az a terület, amibe ha belép egy másik repülő, a TCAS azt jelzi. A piros négyzet pedig a másik repülő, amit a TCAS ütközésre veszélyesnek talált.

Az, hogy a TCAS milyen tanácsokat tud adni (TA-t, RA-t vagy mindkettőt), attól függ, hogy a közeledő, veszélyes zónában található másik repülő transzponderje milyen módba van állítva. Ha off vagy standby módban van (azaz ki van kapcsolva vagy készenlétben van), akkor láthatatlan marad a TCAS számára. A TCAS csak Mode C vagy Mode S transzponderek számára értelmezhető kéréseket küld, így egy Mode A-ra állított eszköz nem fog válaszolni neki, ezáltal szintén láthatatlan marad. A Mode C transzponder különböző beállításaitól függően elérhető forgalmi javaslat illetve döntési tanács is. Ahhoz, hogy ezeket a figyelmeztetéseket a TCAS összeállítsa, egy 3 dimenziós teret szerkeszt a repülő köré, ahol a legnagyobb a valószínűsége egy esetleges ütközésnek. A TA és az RA elkészítése az ún. legközelebbi megközelítendő ponton, röviden CPA-n (Closest Point of Approach) alapul. Ez a pont az, ahol a két repülő távolsága egymáshoz képest eléri a minimum értéket: ennél a pontnál nem kerülhetnek közelebb egymáshoz. A TCAS kiszámítja azt az időt, amennyi ahhoz szükséges, hogy elérjük ezt a pontot. Az utasítások ettől az időtől függően jelennek meg. A TA akkor keletkezik, amikor a másik gép körülbelül 40 másodpercre van a CPA-tól, az RA pedig akkor, amikor kb. 25 másodpercre van attól.[7]

Irodalomjegyzék

- [1] Claude Meunier: Whiley Post; Solo flights around the world, 2013. szeptember 25.
http://www.soloflights.org/post_data_e.html Letöltés ideje: 2013. november 4.
- [2] „Misibacsi”; 2013. október 21.
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Rep%C3%BCI%C5%91g%C3%A9p> Letöltés ideje: 2013. október 27.
- [3] Marshall Brain, Robert Lamb, Brian Adkins: How Airplanes Work; 2011. május 26.
<http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/airplanes.htm> Letöltés ideje: 2013. október 27.
- [4] William Harris: How Autopilots Work; 2007. október 10.
<http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/autopilot.htm> Letöltés ideje: 2013. október 28.
- [5] „Chetvorno”; 2012. február 12.
http://en.wikipedia.org/wiki/VHF_omnidirectional_range Letöltés ideje: 2013. október 28.
- [6] „Michael Hardy”; 2005. október 26.
http://en.wikipedia.org/wiki/Distance_measuring_equipment Letöltés ideje: 2013. október 28.
- [7] „Angle of Attack”: 737 GroundWork Preview – TCAS; 2012. február 27.
<http://www.youtube.com/watch?v=6wB0dl3v5gI> Letöltés ideje: 2013. október 28.

Ábrajegyzék

- Borító: Guy Daems – Brussels Aviation Photography, Thomas Cook Airlines Airbus A320-232; 2006. augusztus 27. <http://www.airliners.net/photo/Thomas-Cook-Airlines/Airbus-A320-232/1100043/L/> Letöltés ideje: 2013. október 27.
1. ábra: Lee Dempsey/HowStuffWorks.com: Airplanes take advantage of four forces; 2011. május 26. <http://static.ddmcdn.com/gif/airplane-forces2.gif> Letöltés ideje: 2013. október 27.
2. ábra: Lee Dempsey/HowStuffWorks.com: Angle of attack; 2011. május 26. <http://static.ddmcdn.com/gif/airplane-angle-of-attack.gif> Letöltés ideje: 2013. október 27.

3. ábra: Bill Harris: Aircraft Motions and the Principle Axes; 2011. május 26.
<http://static.ddmcdn.com/gif/autopilot-1.jpg> Letöltés ideje: 2013. október 27.
4. ábra: Bill Harris: Autopilot parts; 2007. október 10.
<http://static.ddmcdn.com/gif/autopilot-2.jpg> Letöltés ideje: 2013. október 27.
5. ábra: Bill Harris: Autopilot control systems; 2007. október 10.
<http://static.ddmcdn.com/gif/autopilot-3.jpg> Letöltés ideje: 2013. október 27.
6. ábra: „Yaoleilei”: D-VOR ground station, callsign "PEK" (Beijing); 2005. Január 31.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/D-VOR_PEK.JPG Letöltés ideje: 2013. október 28.
7. ábra: Zerkowitz István: ... amikor szigorúan betartandó légifolyosók voltak felettünk...; 2012. Augusztus 19.
http://iho.hu/img/repules_12_08/120819_zerk/Hungary_ERC_1978_rs.jpg Letöltés ideje: 2013. október 28.
8. ábra: „Angle of Attack”: 737 GroundWork Preview – TCAS; 2012. február 27.
<http://www.youtube.com/watch?v=6wB0dl3v5gI> Letöltés ideje: 2013. október 28.