

A LESZÁLLÍTÓ RENDSZEREK KIEGÉSZÍTŐ ESZKÖZEI

A „KÖDSZEM”

Ultraibolya érzékelők ígéretes lehetőségnek tűnnek egy viszonylag alacsony költségű látásnövelő rendszer létrehozásához. A rendszer ködben, zuhogó esőben, hóesésben akár 3,4-szeresére növeli a látótávolságot. Összekapcsolva az érzékelő jeleit a már létező GPS¹, MLS², ILS³ rendszerekkel, lehetővé válik a leszállás a legrosszabb időjárási körülmények között is- mindössze egy jelentéktelen költségű módosítás szükségeltetik a gépen és a pályafényeken.

A NASA Dryden Repüléskutató Központja foglalkozik a kísérletekkel egy erre a célra átalakított F/A-18-assal. Az igazgató szerint céljuk a leszállófények érzékelése 2600 láb távolságról (I. kategória látási minimuma) olyan ködben, amely a normál látást 700 lábra korlátozza (III.a kategória látási minimuma). A földi tesztek már megmutatták, hogy ez elérhető. Ha ezt a próbarepülések is megerősítik, akkor ez megengedi majd, hogy a pilóta egy I. kategóriájú géppel olyan időjárásban landoljon, amely mind a repülőtértől, mind a géptől III.a minimumot követelne.

Az ultraibolya sugárzás kevésbé csillapodik a nedvességben a milliméteres hullámoknál és az infravörös sugárzásnál is. Ellenérv vele szemben, hogy nem ad olyan TV-szerűen tiszta képet, mint a milliméteres sávú aktív radar illetve jó időben a FLIR⁴. De egy egyszerű UV⁵ rendszer drámaian megnövelheti a pilóta azon képességét, hogy „lássa” a leszállópálya és a gurulóutak fényeit egy HUD-on⁶ és ez elegendő a biztonságos leszálláshoz. A ködszem érzékelő egy egyliteres üdítős palack méreteivel rendelkezik.

A súlya másfél kilogramm és elhelyezhető az orrfutó szár lámpatartóján. A passzív MMW-vel⁷ összehasonlítva, a ködszem sokkal kisebb és egyszerűbb.

¹ Global Positioning System – műholdas helyzet meghatározó rendszer.

² Microwave Landing System – mikrohullámú leszállítórendszer.

³ Instrument Landing System – műszeres leszállítórendszer.

⁴ Forward Looking Infrared – előrenéző infravörös felderítőkészülék.

⁵

⁶ Head-Up Display – homloküveg-kijelző.

⁷ Millimeter Wave Radar – milliméteres hullámú radar.

Köztudott, hogy a látható nedvesség korlátozza az IR⁸ érzékelők lehetőségeit és bár kisebb mértékben, de behatárolja az MMW érzékelők működését is. Sokkal kevésbé ismert viszont az a tény, hogy a köd tulajdonképpen megnöveli az UV lehetőségeit. Az ok az UV hullámhosszában keresendő (0,210-0,275 μm) amely jóval kisebb a köd részecskéinek átmérőjénél.

Általánosságban, a ködnek van a legnagyobb látáskorlátozó hatása, a maga 1-10 μm körüli részecskéivel. Az esőcseppek nagyobbak és sűrűbbek, de kevésbé jelent problémát az UV számára.

Ezzel ellentétben a FLIR 1-11,5 μm, míg az MMW 1000-3000 μm-es hullámokkal dolgozik. A vízrészecskék mérete a köd típusától függ - a köd vékonyodásával növekszik. A nagyobb részecskék és a nagyobb koncentráció az ún. advekción ködre jellemző, amely többnyire a parti régiókban fordul elő. A sugárzási köd, amely a belső kontinentális területek velejárója, kisebb részecskékből áll.

Amikor az UV sugárzás — amelynek hullámhossza viszonylag kicsiny a ködöt alkotó cseppecskékhez képest — kölcsönhatásba lép ezekkel a részecskékkel, hosszanti szóródást szenved, amely a kibocsátási irányt megtartja kicsiny csillapítás mellett. A hosszanti szóródás még hangsúlyosabb az advekción ködnél, számítási modellek szerint mintegy 100-szor nagyobb mértékű, mint a sugárzási ködnél. A FLIR hullámhossza — közel részecskeméretű — elnyelődik és széles szögterületben szóródik. Az MMW hullámhossza sokkal nagyobb, ennek következtében igen kicsiny hatással vannak rá a cseppecskék.

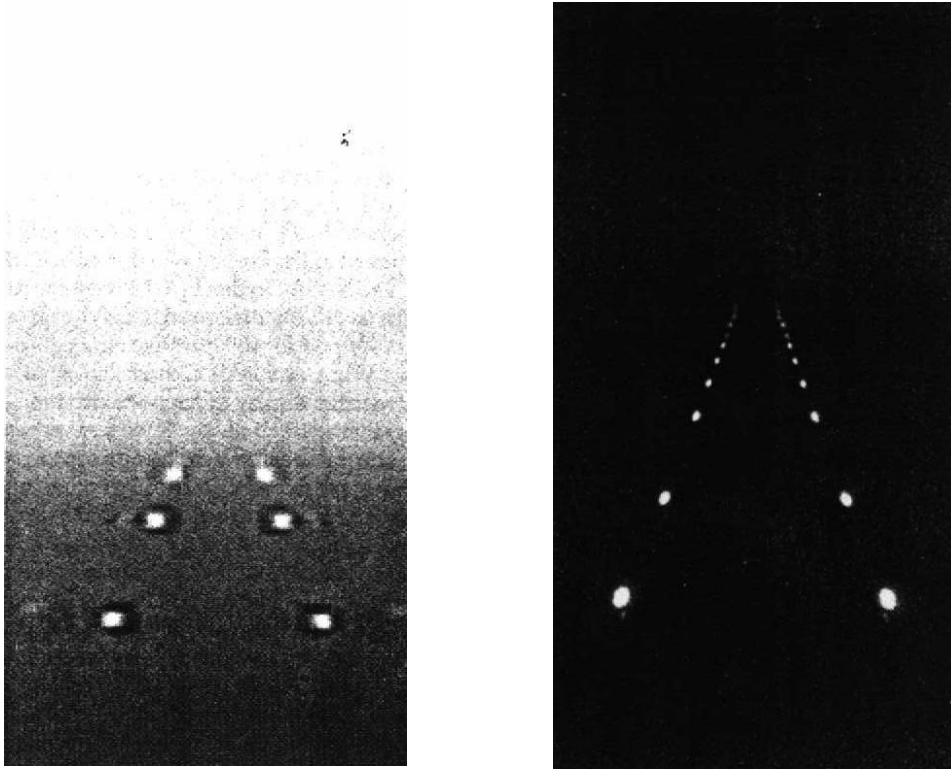
A képeket egy HUD-on ábrázolják felvillanó megjelenítéssel, amely a raszteres kivetítésnél fényesebb képet ad. A raszteres technika ahhoz szükséges, hogy a szürke árnyalatait az olyan alkalmazásokban mint a TV, a FLIR vagy az aktív MMW radar, meg lehessen jeleníteni. A FLIR-nél a szürke árnyalatai a hőmérsékleteket jelölik. De mióta UV-t szándékoznak kizárólagosan fényforrások megjelenítésére használni, a teljesen felvillanott-teljesen elsötétített képpont technika használható lesz a kijelzőknél.

A Norris Elektronoptikai Rendszerek vállalat már eredményesen bemutatott egy „ködszem” prototípust az FAA⁹ és a légierő Wright laboratóriuma által szervezett földi tesztben.

Ha a repülőgép fedélzeti tesztek megerősítik az eddigi eredményeket, az eladásban kulcsszerepet játszhat a tulajdonképpeni érzékelőnek az egyszerűsége, amelynek sem kibocsátott RF jele sem szoftvere nincs.

8

⁹ Federal Aviation Administration – Szövetségi Légügyi Hivatal.



1. ábra. Látás szabad szemmel és a ködszem érzékelővel

Egy nagy erősítésű fotósokszorozó cső biztosítja a képet, ami egy átlagos videokom csőként viselkedik. De a fotósokszorozó akár egymilliósorosára képes erősíteni a jelet észrevehető zaj nélkül. További érv az UV mellett, hogy kicsiny a természetes háttérsugárzás ebben a tartományban [3].

A „ködszem” 2,75 hüvelykes átmérője folytán — a cég szerint — jobb felbontással rendelkezik az emberi szemnél, amely 1 milliradiánra képes. A látótér vízszintesen 30° , függőlegesen $22,5^\circ$, megegyezően a HUD képességeivel. Kvarc kupolával hatótávolsága az ember szemének 3,4-szerese. A hokikorong-szerű UV-sugárzó csatlakoztatható a már létező lámpaegységekhez. A Norris úgy tervezi, hogy egy-egy fénykibocsájtó egység felszerelési ideje nem lesz több kettő percnél. A földi teszteknel 690 láb vízszintes látás mellett az UV-fényekkel felszerelt teherautó 2600 lábról vált láthatóvá. A NASA Dryden F/A-18-asa HUD differenciális GPS és FLIR/TV segítségével gyűjt összehasonlító adatokat.



2. ábra. A ködszem érzékelő és fényforrása

Ha a színes HUD hozzáférhető lesz (polgári felhasználók számára), akkor a Norris különböző színekkel szeretné a futópályát ábrázolni. A passzív UV-rendszer más típusú leszállást segítő eszközzel való kombinálásának igazi haszna az lehet, hogy módosított I. kategóriájú repülőterek kiszolgálhatnak „ködszem”-mel felszerelt I. kategóriás gépeket a III.a kategória viszonyai között. A pilóta követheti az ILS, MLS vagy a GPS irányítást a műszeres megközelítés során, amíg a HUD-on fel nem tűnnek a futópálya látható jelképei és ekkor áttérhet látás utáni repülésre.

A „pilóta leszálló rendszere” ahogy a Norris hívja a „ködszem” /HUD/ I. kategóriás repülőgép kombinációt, olyan áthidaló megoldást adhat amely átvezet az „ILS/MLS/DGNSS¹⁰ melyik legyen?” döntési időszakon. A világ ugyanis e kérdésben három részre szakadt.

A csendes-óceáni térség az ILS-t támogatja, Európa (különösen az Egyesült Királyság) az MLS-t szeretné bevezetni, míg az Egyesült Államok a DGNSS mellett kardoskodik. A „ködszem” felszerelése egy I. kategóriás repülőgépre 75 000 dollár. A repülőterek III. kategóriára való fejlesztésének költségeihez hozzá kell számolni a kvarcburkolatú speciális UV-lámpákat, ez 180 000 dollár egy kifutópályára. A hagyományos felfejlesztés ennél sokkal drágább, ugyanis

¹⁰

nagyon sok plusz lámpa elhelyezése szükséges és ezek tápkábelei valamint a kábelgödörök kiásása szintén igen jelentős költséget jelent.

AZ APALS¹¹ RENDSZER

Az autonóm precíziós megközelítő és leszállító rendszer fejlesztési munkái a Lockheed Martin cégnél folynak. A fejlesztést 1992-ben kezdték és 1996-ra már az előszéria példányok tesztelése folyt. Két amerikai repülőtérre végzett több mint 130 kézi vezérlésű megközelítés és leszállás bizonyítja, hogy a rendszer képes megfelelni a III. kategória követelményeinek.

Észérvek az APALS mellett

Az egyre magasabb biztonsági, folytonossági és megbízhatósági szintek követelményei a repülés legkritikusabb szakaszaiban — műszerrepülési szabályok alkalmazásával végzett megközelítés és leszállás során — egy sor érdekes technikai megoldáshoz vezettek. A legígéretesebb a GPS technológia, amely már demonstrálta, hogy képes kielégíteni a III. kategória által elvárt pontossági követelményeket, de nem képes megfelelni a folytonossági és hozzáférhetőségi előírásoknak anélkül, hogy a földbázisú rendszerek közül kiemelnék. Ez magában foglalja a repülőtér-bázisú rendszerek használatát úgy, hogy azok helyzetmeghatározó és folytonosságot növelő jeleket sugározzanak a beérkező repülőgép számára. Sajnos ezen megoldásokat nem definiálták 1997 előtt így a II-es és III-as kategóriájú GPS megközelítésekről szóló döntéshozatal megkezdése nem volt várható 2005 előtt. A III-as kategóriájú automatikus leszállások csak azokon a reptereken hajthatók végre, ahol az ehhez szükséges ILS, MLS berendezések azt támogatják.

Rendszer áttekintés

Az APALS lehetővé teszi a landolást rossz látási körülmények között, időjárás felderítő radar érzékelőelemként történő használatával. A rendszert teljes egészében a repülőgép hordozza és nincs szüksége földi segédberendezésre. Az APALS többek között egy nagy felbontású radarképet is előállít, amelyet ugyan nem vetít ki, de felhasználja a kifutópályától való eltérés számításához. Gurulás, felszállás és útvonalrepülés során egy tehetetlenségi mérőegységtől származó adatokat kapcsolnak össze a GPS-ből származó sebességi és helyzetadatokkal.

¹¹ Autonomous Precision Approach and Landing System – autonóm precíziós megközelítő és leszállítórendszer.

Különbségi korrekcióval és kód- illetve vivőfázisú algoritmussal kiegészítve ez olyan pontos, mint a differenciális GPS leszállító rendszerek.

A hatótávolság és a hatótávolsággal arányos hibák mérését egy szintetikus apertúrájú, X-sávú meteorológiai radar képeinek előre meghatározott pontokkal való korrelációjának vizsgálatával valósítják meg. A megközelítési útvonalon egymás után következő képek azonosításával a rendszer képes III. kategória követelményeit is meghaladó pontosságot biztosítani. A küszöb felett 30 m-es magasságban a rendszer áttér szabad tehetetlenségi módba, bízva abban, hogy az érzékelők hibáit és a radar magasságmérő adatait pontosítva fenntartható a III. kategória pontossága a földterési pontig.

A rendszer szerkezetéből adódóan zárthurkú folytonossággal rendelkezik a megközelítési és leszállási szakaszok ideje alatt. Ha nincs korreláció a rendszer által érzékelt és a földön található tereptárgyak között, akkor a pontosság lecsökken. Míg a jelenlegi helyzetet arra használják, hogy merre keressék a következő „képet”, ez a lecsökkent pontosság végül is megakadályozza a navigátort a „kép” megtalálásában.

Még fontosabb, hogy folytonossági monitorrendszer érzékeli a hibás korrelációkat és kiszámítja a navigációs feladat pillanatnyilag elvárható pontosságát. Ezen a módon az APALS eldöntheti, hogy a pontosság elegendő-e a megközelítés folytatására, vagy kiadja a „megszakított megközelítés” riasztást. A navigációs adatokat kijelezheti HUD segítségével, vagy az ILS-sel egyenértékű adatokat szolgáltat a repülésvezérlő rendszerbe.

Az adatok vezethetik a robotpilótát és II-es, III-as kategóriájú automatikus leszállító rendszereket. Az ILS egyenértékű adatok — LLZ¹², GS¹³, LLZ azonosító és marker jelek — a pontos helyzetből és a megközelítés geometriájából számíthatók. Amikor az útvonalat meghatározzák a rendszer beindításakor, a tárolt adatbázis változóit használva, bármilyen jóváhagyott megközelítés alkalmazható.

Rendszer követelmények

Az RNP¹⁴ megközelítési, leszállási és indulási koncepció meghatározza a rendszertervezés négy aspektusát, amelyet minden útvonalrepülési és megközelítési rendszer ki kell elégítsen: pontosság, folytonosság, funkciók folytonossága és hozzáférhetőség. Az RNP, amíg fejlesztése zajlik, már elfogadott mint irányadó a teljes rendszerhiba teljesítményszintjei számára. Ehhez hozzávéve, az RNP meghatározott elfogadott teljesítményhatárokat a folytonosságra, teljességre és

¹² Localizer – irányász adó.

¹³ Glide Slope – siklópálya.

¹⁴ Radionavigation Plan – rádió navigációs terv.

hozzáférhetőségre a precíziós megközelítési rendszer számára. Ezek azok az értékek, amelyeket az APALS gyártásánál előírt követelményként vesznek figyelembe. Folyamatban lévő rendszerhibák analizését és a funkcionális hibák analizését is fel fogják használni arra, hogy finomítsák ezeket a követelményeket. Az FAA III. kategóriás DGPS¹⁵ megvalósíthatósági programja jelenti az egyik alapját az APALS pontossági és integritási figyelésének, amelyet ehhez a kísérleti rendszerhez viszonyítanak.

A függőleges és vízszintes érzékelők hibáit használják arra, hogy kiértékeljék a repülési tesztek eredményeit. Az NSE¹⁶ úgy értelmezhető, mint a különbség a valós és a rendszer által becsült pozíció között. A teljes rendszerhiba nem használható az eredményesség mérésére, mivel a tesztrepülőgép nem volt felszerelve automatikus leszállító rendszerrel.

Rendszer leírás

Az APALS három fő összetevővel rendelkezik:

- digitális elektronikai egység;
- radar illesztőrendszer;
- pilóta felé történő jelátalakítást megvalósító rendszer.

A digitális elektronikai egység áll a processzorból, a be/kimeneti csatolókból, tehetetlenségi mérőegységből, GPS vevőből, robusztus tartóelemekből és tápegységből [2]. Az APALS működése során egyedülálló párhuzamos adatfeldolgozó rendszert használ, három egymáshoz csatlakoztatott processzor révén. Ennek két jelentős előnye is van: a szoftverelemeket megosztja a két processzor között, azok fontossága szerint és szükségtelemé teszi a rendszerbuszt, nagyon magas szintű megbízhatóságot érve el ezzel. Továbbá a rendszer könnyen bővíthető.

Repülési tesztek

Az APALS segítségével a tesztrepülőgép 17 megközelítést hajtott végre Új-Mexikóban 1995–96-ban. A célok a következők voltak:

- bemutatni a rendszer útvonalrepülési és megközelítési pontosságát a III. kategória viszonyai között;
- fejleszteni az APALS teljesség figyelő rendszerét és megbízhatóságát;
- a repülőgép repülési helyzetkép adója részére II. kategóriájú ILS formátumú adat biztosítása.

A repülés előtti ellenőrzés azzal kezdődik, hogy a pilóta bekapcsolja az APALS rendszert. A személyzet kiválasztja a repülési útvonalat és a megközelítendő

¹⁵ Differential GPS – különbségi GPS.

¹⁶

futópályát, ami minden APALS rendszer részére szükséges a beinduláshoz. Ekkor egy beépített önellenőrző rendszer is elindul, ha ez nem talál hibát azt fénynyel jelzi. A pilóta elindítja az egybeesés kereső funkciót, ha ez sikeres (kb. 4 percet vesz igénybe), akkor újabb fény gyullad ki és megkezdődhet a gurulás. Az APALS minden olyan információt biztosít, amire egy ILS képes (LLZ, GS, marker jelek, morze azonosító) a megközelítés megkezdésétől egészen a kigurulás végéig. A pilóták feladata ILS-szerű leszállás végrehajtása volt a rendszer segítségével.

Földi ellenőrzés

A valós helyzetadatokat nagy pontosságú GPS segítségével gyűjtötték, és utólagos számításokkal a pontosságot 10 centiméteresre növelték.

EREDMÉNYEK

62 megközelítés eredményei alapján (III. kategóriás) a nyújtott pontosság több mint elegendő a III. kategória melletti üzemelésre, sok hibaérték csak töredéke az ICAO¹⁷ követelményeknek [1]. A repülési tesztek megmutatták, hogy a rendszert a 60 cm-es hó sem tudja megtéveszteni, megbízhatóan szállította az „ILS” adatokat a leszállás során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hvizd, James J., Dieffenbach, Otto W.: APALS program status: preproduction flight test results and production implementation, 1996.
- [2] Autonomous Precision Approach and Landing System (APALS), Journal of ATC, April-June 1995.
- [3] A new approach to approaches, Flight International, October 5-11, 1994.

¹⁷ International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.