

Tuba Zoltán¹

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK (UAV-K) ÉS A LÁTÁSTÁVOLSÁG EGYES KÉRDÉSEI²

Jelen cikk alapvető célja, hogy a pilóta nélküli repülő eszközök és azok alkalmazási területeinek történeti előzményeit összefoglalóan bemutatva rávilágítson azon meteorológiai elemek és jelenségek jelenlétére, amelyek számottevően befolyásolhatják az UAV-okat feladataik végrehajtásában. Kiemelten kezelve azon paramétereket, amelyek nem csak a pilóta nélküli repülőeszköz közvetlen üzemeltetését gátolják, hanem azzal párhuzamosan az egyes speciális feladatok végrehajtását akadályozzák meg. Az így szóba jöhető meteorológiai elemek közül talán a legfontosabb a látástávolság, amely a pilóta nélküli repülőeszközök leggyakrabban végrehajtott felderítési, megfigyelési, monitoring feladatait – az alacsony felhőalap mellett – a legnagyobb mértékben képes korlátozni. Ez a kulcsszerep az, ami kiemelten ráirányítja a figyelmet a látástávolság előrejelzésének fontosságára az UAV műveletek meteorológiai támogatása során. A látástávolság előrejelzése azonban a jelenleg ismert alpmódszerek mindegyikénél korlátokba ütközik, ami meghatározza az előrejelzések beválását is. Ez a cikk a korlátok bemutatása mellett javaslatot tesz a statisztikus és numerikus alapú platformok összevonására, amely a korlátozások egy részét feloldja.

SELECTED QUESTIONS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) AND VISIBILITY

The fundamental goal of this paper to show the historical background of unmanned aerial vehicles and their applications, and highlight those meteorological elements and phenomena, which have key role in mission execution. Giving priority to those parameters which are not only obstructing directly the operations but parallel they are holding the special missions. Maybe the visibility is the most important of them besides the low ceiling, which frequently limits the surveillance, reconnaissance and monitoring tasks of unmanned aerial vehicles. This key role draws attention to the importance of visibility forecasts during meteorological support of UAV operations. Unfortunately the visibility forecasts have limitations at all of the basic methods and it has serious consequences in the performance of the forecasts. This paper shows these limitations and gives a recommendation to merge statistical and numerical forecast methods in order to dissolve the mentioned limitations.

BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) sok más találmányhoz hasonlóan haditechnikai fejlesztések eredményeként jelentek meg először és még napjainkban is a katonai alkalmazások adják felhasználásuk döntő részét. [1] Életre keltésüket a harmadik dimenzió szabadságából adódó katonai lehetőségek támogatták, amelyek lehetővé tették, hogy – kezdetben főleg kísérleti jelleggel – tűzérségi és megfigyelési feladatokban alkalmazzák őket. Mindez a 19. század derekán kezdődött, amikor még a meteorológia tudománya igencsak gyerekcipőben járt. Ekkor még nem volt általános a kiépített földfelszíni megfigyelő hálózat és a meteorológia egyes

¹ százados, PhD hallgató, NKE, HHK KMDI, Katonai Repülő Tanszék, tubazoltan.met@gmail.com

² Lektorálta: Dr Wantuch Ferenc, Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

alapelméletei sem voltak ismertek. Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert a kísérleti jelleggel hadrendbe állított eszközök üzemeltetését legfeljebb ad hoc jellegű meteorológiai mérésekkel, megfigyelésekkel támogathatták. Ez a veszélyes feladatok végrehajtása során alig nyújtott nagyobb segítséget, mint ha a vak szerencsére bízták volna magukat az égi jelenségek terén. Nem egy alkalommal előfordult, hogy a természet erői az alkalmazók ellen fordították autonóm módon működő eszközeiket, pusztán a szélirány megváltozásának köszönhetően. [2][3] Természetesen az egyre fejlettebb és drágább repülőtechnika megjelenésével párhuzamosan a meteorológia tudományának fejlődése is folyamatos volt. Ez lehetővé tette, hogy a meteorológiai támogatás iránti növekvő igény legalább részben kielégítésre kerüljön. Magát a repülést és a hozzá kapcsolódó speciális feladatokat korlátozó vagy veszélyeztető meteorológiai paraméterek előrejelzése azonban akkor is és most is kihívás elé állította és állítja az ezzel foglalkozó szakembereket.

Ráadásul a pilóta nélküli repülőeszközök és repülőgép rendszerek elterjedésének a 20. század utolsó évtizedeiben meginduló szignifikáns növekedése [4] és az ezzel járó mennyiségi és minőségi igények gyarapodása a meteorológiai támogatás terén újabb fejlesztések megjelenését kívánja. A pilóta nélküli repülésben alkalmazott repülőeszközök fizikai karakterisztikái sok esetben jelentősen eltérnek a hagyományos repülőgépek tulajdonságaitól, ami a speciális missziók igényeivel párosulva személyre és feladatra szabott prognózisok készítését várja el a repülésmeteorológusoktól a feladatok tervezéséhez és végrehajtásához kapcsolódóan. Kiemelten nehéz ez a munka az olyan paraméterek esetében – mint például a látástávolság vagy a felhőalap, – amelyek a numerikus előrejelzési modellek outputjaiban csak származtatott mennyiségekként jelennek meg. [5] Jelen cikk célja, hogy a pilóta nélküli repülőeszközök történeti példáin szemléltetve rámutasson az egyik legfontosabb származtatott paraméter, a látástávolság előrejelzésének hangsúlyos szerepére és egyben javaslatot tegyen az előrejelzési feladatokban és azok módszertanában rejlő egyes nehézségek feloldására.

TÖRTÉNETI ELŐZMÉNYEK

Ahogy a bevezetésben is említettük, a pilóta nélküli repülőeszközök első alkalmazását a 19. század derekán említik írásos források. [6] Ezek az eszközök azonban még a kor repüléstudományának megfelelő szintű, hajtómű nélküli, a levegőnél könnyebb légi járművek voltak. A század végéig ezek a ballonos repülések, feladat végrehajtások az esetek számottevő részében a nem megfelelő időjárási körülmények miatt voltak sikertelenek. A kor légkörtudományának szintjén ugyanis erősen korlátozottak voltak a meteorológiai támogatás lehetőségei. Ennek ellenére nyilvánvalóvá vált, hogy a légköri állapothatározók és jelenségek jelentős befolyással bírhatnak az egyes feladatok sikerére.

A pilótával ellátott merevszárnyú, hajtóművel rendelkező repülőgépek megjelenését hamarosan követték pilótánélküli társaik is, amelyek már a mai értelemben vett pilóta nélküli repülőeszközök elődeinek tekinthetők. Eleinte ezek a gépek még gyakran pilótát is szállítottak magukkal, aki szükség esetén illetve a kényesebb fel- és leszállási manővereknél beavatkozhatott. [3] A beavatkozást sok esetben a környezeti viszonyok gyorsan végbemenő változásai kényszerítették ki, amelyek az

azonnali reakció nélkül akár a repülőgép földdel való ütközését is előidézhették. Ilyen tipikus körülmény lehetett például a felszín közeli erős szél okozta mechanikus turbulencia.

Az I. világháború idejére a pilóta nélküli repülőeszközök leendő katonai felhasználói már realizálták azok hadászati, harcászati jelentőségét. Ennek megfelelően számos hadsereg hajlandó volt tekintélyes összegeket áldozni az ezzel kapcsolatos kutatásra és fejlesztésre. [1][7] Ekkor a hagyományos, pilótával ellátott repülőgépekre alapvetően a szárazföldi csapatok támogatásában számítottak. Ez a kiegészítőnek szánt szerep abban az időszakban teljesen elfogadottnak számított, hiszen a merevszárnyú repülés történetének kezdeti időszakában voltak, amikor az egyes nemzetek hadereje még nem rendelkezett független légi haderőnemmel. A szárazföldi csapatok fennhatósága alá tartozó repülőeszközök feladatait doktrinálisan két fő csoportba: harcászati és a hadászati feladatokra osztották. A harcászati feladatokon alapvetően a szárazföldi csapatok légi megfigyelésekkel való támogatását értették. Ennek során a vizuális és a fotó felderítés valamint a tüzérségi célrávezetés mellett, a támadó saját erőikkel kapcsolatos valós idejű információkat szolgáltatottak a műveleteket irányító parancsnok számára. A hadászati feladatok folyamán a „légierő” feladata a légi főlény kivívása mellett a mélységi célpontok bombákkal való támadása volt. Ez utóbbi feladatkör rendkívüli kockázatokkal járt a pilóták szempontjából, így az adott feladatra a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása szinte adta magát. Charles Kettering egy Bug névre keresztelt repülőeszközt tervezett és fejlesztett a fenti feladat végrehajtására. [1] [7]



1. ábra A Kettering Bug életnagyságú modellje az USAF múzeumában³

Az alkalmas mennyiségű robbanóanyaggal ellátott repülőgépet ellenséges mélységi célok támadására

³ Forrás: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:KetteringAerialTorpedo.jpg>

tervezték. Az előzetesen megtervezett útvonal lerepülése után a repülőgép kamikaze módjára zuhant célpontjára. A motor leállítását egy automata számláló szerkezet idézte elő, amikor a légcavar által tett fordulatok száma elért egy előre megadott értéket. [7] Nyilvánvaló, hogy ezzel a módszerrel precíziós találatokat nem lehetett elérni. Ebben az is fontos szerepet játszott, hogy bár a felszállás előtt mért szélirány és szélsébség adatokat figyelembe vették a repülési idő tervezésénél, de a 3 dimenziós szélmezőről érdemi információkkal már nem rendelkeztek, nem is beszélve annak időbeli változékonyságról. Egy feltételezett mindössze 30 perces bevetés során, ha a nem teljesen ismert szélviszonyok miatt átlagosan 1 m/s-mal elvették a repülőgép felszínhez viszonyított sebességét, akkor ez a célpont közel 2 kilométerrel való eltévesztését eredményezte. Valós harci környezetben azonban soha nem került bevetésre, mert mire a fejlesztések a megfelelő fázisba jutottak, az I. világháború véget ért.

A két világháború közötti békeidőszak első felében a katonai érdeklődés és az ezzel járó finansziális támogatás csökkenésével a pilóta nélküli repülőkkel kapcsolatos fejlesztések is megtorpantak. Újabb lökést a terület kutatásának a rádiótechnika nagyarányú fejlődése adott az 1920-as évek végén és az 1930-as években, amikor új feladatkörben, távirányítású célrepülőgépként alkalmazták az UAV-okat. [3]

A II. világháború alatt újra az ellenséges célok támadására alkalmas pilóta nélküli repülőgépek fejlesztése került előtérbe. Talán az időszak legismertebb eszköze a német V-1 robotrepülőgép volt. Ugyan a fejlesztése már jóval a háborút megelőzően megkezdődött, de az első bevetése a normandiai partraszállásig váratott magára. Az eszköz robotpilótája a tervezett magasságot és irányt a beépített nyomásmérő és giroszkóp segítségével stabilizálta. A távolságmérőbe épített automatizmus az előre beállított távolság elérésekor tulajdonképpen zuhanó bombává „alakította” a V-1-et.



2. ábra A V-1 (Fieseler Fi 103) repülés közben⁴

⁴ Forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:V-1_\(Fieseler_Fi_103\)_in_flight.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:V-1_(Fieseler_Fi_103)_in_flight.jpg)

A távolságmérő egy légszűrővel szélmérő adatai alapján mérte a levegőhöz viszonyítva megtett távolságot. A valós távolság pontos kalkulálásához tehát itt is figyelembe kellett venni a repülési útvonalon uralkodó szélviszonyokat. Ezeket a számításokat a felszállás előtt egy technikus végezte el és ő állította be a számlálót is a megfelelő értékre. A viszonylag nagy hatótávolság miatt ez nagy találati pontatlanságot eredményezett. Ez azonban nem jelentett szignifikáns problémát, hiszen nem precíziós jelleggel, hanem alapvetően területbombázásra használták. [1]

A II. világháborút követően a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztése újra a békésebb alkalmazások irányába fordult. Elsősorban célrepülési és felderítési, megfigyelési feladatok végrehajtására tökéletesítették a kifejlesztett prototípusokat. Az amerikai szárazföldi haderőnél például az RP-71 típusú robotrepülőgéppel kezdtek kísérletekbe. Ez az eszköz képes volt rövid ideig tartó felderítési feladatok után visszatérni a kiindulási helyére. [7] Mivel egy kompakt, gyorsan és könnyen felbontatható eszközről volt szó, ezért a fedélzeten elhelyezett automata fényképezőgép által készített képekhez a parancsnokok szinte valós időben módon juthattak hozzá, ami jelentősen javíthatta a harci helyzetértékelés színvonalát. Olyan időjárási körülmények mellett is repülhetett, amikor más gépek nem szállhattak fel, így az üzemeltetését alapvetően csak a felderítési feladatokat korlátozó légköri viszonyok akadályozhatták. Ezek, ahogyan a bevezetőben már említésre került, a kis magasságon elhelyezkedő zárt felhőzetet, azaz az alacsony felhőalapot és a gyenge látástávolságot (tipikusan ködöt, füstöt, felkavart port) jelentették. Az SD típus előjelzővel ellátott továbbfejlesztett változatai repülési és egyéb karakterisztikáikban oly módon változtak, hogy a harcászati feladatok helyett alkalmasabbá váltak hadászati megfigyelési célokra. Ezt segítette fedélzeti műszerezettségük, felszerelésük fejlődése is. A hagyományos légi fotók készítése mellett az elektromágneses spektrum több különböző hullámhossz tartományában működő felderítő eszközökkel (radar, infrakamera, stb.) tudták a felderítés hatékonyságát növelni. A plusz eszközök alkalmazásának gyakran meteorológiai vonatkozásai is voltak. Egy infravörös tartományban készített kép kiértékeléséhez tisztában kellett lenni a készítés időpontjának meteorológiai és sugárzási viszonyaival, sőt érdemes volt eleve úgy tervezni a felderítési feladatot, hogy az előbb említett okok figyelembe vételével az elkészített kép megfelelően kontrasztos legyen.

Az elkövetkező időszak folyamatos fejlesztéseinek eredményeként a Vietnámi háború során sikerült először sorozatosan bevetni pilóta nélküli repülőgépeket felderítő feladatokra valós harci körülmények között. Az alkalmazott repülőeszközök a közvetlen felderítő feladatok mellett gyakran passzív zavaró műveleteket és röplapszórást is végeztek. Jelentős felderítő szerepük ellenére azonban újra egy kisebb megtorpanás következett be a fejlődésben, amely csak a 80-as években indult meg ismét. Annyi hozadéka azonban mindenképpen volt a több ezer vietnámi bevetésnek, hogy ez után minden jelentősebb fegyveres konfliktusban és a 2001 után meginduló terrorizmus elleni globális harcban is fontos szerepet játszottak a pilóta nélküli repülőgépek.

A 20. század utolsó évtizedeiben már szinte a világ minden részén fejlesztettek pilóta nélküli repülőeszközöket. Ezek elsődlegesen továbbra is célrepülési és felderítési feladatokat hajtottak végre. A légi felderítő műveleteket a 18–20 km-es magasságban végrehajtott hadászati felderítéstől kezdve, egészen a harcászati szintű, kis magasságban végrehajtott útvonal megfigyelésig kell

érteni. Ahogyan a nagyobb magasságoktól kezdve haladunk lefelé, úgy csökken a felhőzetre vonatkozó előrejelzések és ezzel ellentétesen úgy nő a látástávolság előrejelzések fontossága. Az akár szakasz szinten is megjelenő pilóta nélküli repülőeszközök növekvő száma pedig a felhasználói igények fokozott megjelenését generálja, prioritizálva ezáltal a látástávolságot és az alacsony felhőalapot, mint előrejelzendő meteorológiai paramétereket. [8]

Ettől az időszaktól kezdve a meghatározónak számító felderítő, megfigyelő szerepkörön túl, ha csak másodlagosan is, de újra fókuszba került az UAV-ok fegyverekkel való felszerelése.[9] Ma már a híradások mindennapos része egy-egy drónnal végrehajtott fegyveres művelet.



3. ábra Az MQ-9 Reaper gyakorló repülés közben ⁵

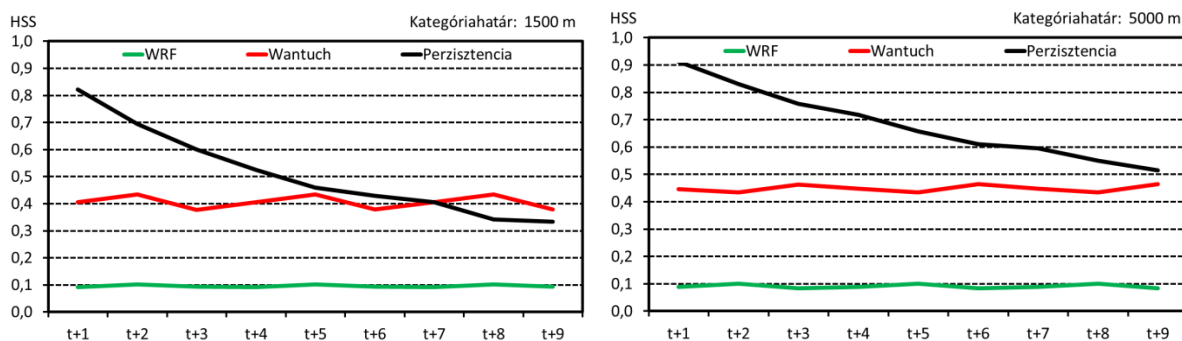
A növekvő meteorológiai támogatási igények az utóbbi években már nem csak a felhasználói műveletek tervezése és végrehajtása során, hanem a kutatási projektek alatt is megjelentek. A meteorológiai támogatás eszközrendszerének a korábbi üzemeltetési tapasztalatok alapján történő felhasználására mutat példát egy az Egyesült Államok légierije számára készült tanulmány. [9] A Predator pilóta nélküli repülőgépek második generációjának (MQ-9 Reaper) fejlesztése során figyelembe vették a tipikus jegesedési zónák magasságát és olyan hajtóművel látták el, ami a szokásos működési magasságát e szint fölé emelte. Ráadásul a fellépő jegesedési problémák elkerülése érdekében, amennyiben a meteorológiai előrejelzések szignifikáns jegesedést prognosztizálnak, a hatékony aerodinamikai profilú szárnyak a kevésbé hatékony, de a jég lerakódását akadályozó profilú szárnyakra cserélhetők.

Összefoglalva a fejezet tartalmát megállapítható, hogy a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztését, fejlődését végigkísérték a meteorológiai vonatkozások. A repülésmeteorológiai eszközrendszer bővülésével és a támogatás minőségének növekedésével, a meteorológiai támogatás iránti igény is egyre határozottabban megjelent. Ma már általánosnak vehető, hogy a hagyományos repülésekhez hasonlóan nem opcióként, hanem szükségletként tekintenek a repülések meteorológiai kiszolgálására.

⁵ Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-9_Reaper_-_090609-F-0000M-777.JPG

Numerikus alapú előrejelzések

A modern meteorológia előrejelzései alapvetően numerikus időjárás előrejelző (Numerical Weather Prediction – NWP) modellek futtatási eredményein alapulnak. Némely ezek közül – mint például a Weather Research and Forecasting (WRF) modell, – bárki számára elérhető, valamint szabadon paraméterezhető és fejleszthető. Ez a modell, természetesen a térbeli és időbeli felbontás, valamint a korlátos előrejelzési tartomány méretének alkalmas megválasztásával, akár egy asztali számítógépen is futtatható. Emiatt kifejezetten kedvelt a kisebb költségvetésű meteorológiai kutatásokban. A későbbiekben bemutatott példák és eredmények is egy hazai fejlesztésű, korlátos tartományú WRF modell futtatási eredményeiből származnak. [10] A modell futtatási eredményei között vannak direkt módon előálló és az ezekből kalkulált származtatott produktumok. Ez utóbbiak közé tartozik a látástávolság is. A látástávolság előrejelzett értékének előállítása számos módon történhet: a relatív nedvesség, a relatív nedvesség és a harmatpont deficit, a felhőben található víz és jégtartalom valamint azok extinkciós együtthatóinak, vagy akár az eddig felsoroltak kombinációjának, stb. felhasználásával. [11] A modell fejlesztőinek döntésén múlik, hogy melyik beépített sémát használják, amelyet akár tetszés szerint tovább is fejleszthetnek. Ennek ellenére ennél a nyers kimenetnél lényegesen jobb beválási eredményeket lehet elérni utófeldolgozó eljárásokkal. Az összehasonlítás érdekében Wantuch [12] döntési fa alapú utófeldolgozó eljárását alkalmaztuk. A 4. ábrán a nyers és az utófeldolgozással kapott látástávolság értékek a Szolnoki katonai repülőtéren (LHSN) észlelt látástávolság adatok (2013.07.10–12.31.) felhasználásával kerültek verifikálásra a jelzett 9 órás előrejelzési időtartományra. A verifikációs eredményeket a Heidke skill score (HSS) [13] segítségével szemléltetjük a feltüntetett előrejelzési kategóriahatár használatával. A HSS értéke 0 abban az esetben, ha az előrejelzésnek nincs hozzáadott értéke a véletlen előrejelzéshez képest és 1 abban az esetben, amikor tökéletes az előrejelzés. Az ábrán feltüntetésre került az ún. perzisztencia előrejelzés is, amely úgy áll elő, hogy a kiindulási időpontban észlelt látástávolság értékeket fogadjuk el prognózisként a teljes előrejelzési időtartományra.



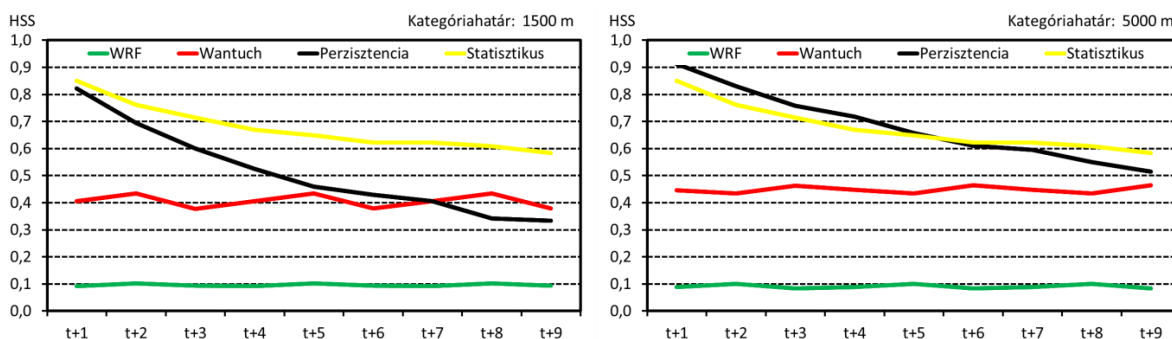
4. ábra Az egyes módszerek látástávolság előrejelzésének beválása a megadott kategóriahatárok mellett

A 4. ábrán jól látható, hogy az utófeldolgozó eljárás jelentősen javította a modell eredményeit a nyers látástávolság kimenethez képest a teljes időszakra vonatkozóan. Ugyanakkor a kilenc órás

periódusban csak a gyengébb látásértékek prognózisa esetén nyújt a perzisztencia előrejelzést meghaladó beválást, nyilvánvalóan azt is az időszak végén. A beválás viszont stabil, a HSS értéke időben közel állandó, ami egyértelműen az előnyei közé sorolható. További előnye még a numerikus alapú előrejelzéseknek, hogy a modell domain földrajzi tartományán belül nincsenek területei korlátai, a prognózisok mindenhol előállíthatók. Az előrejelzések verifikációját azonban csak olyan helyekre lehet elvégezni, ahol a megfelelő észlelési adatok előállnak. A numerikus modell futtatását viszonylag ritkán (általában 6–24 óránként, esetünkben 12 óránként) végzik. A futtatás által lekötött időt is figyelembe véve egy adott időpontban esetenként jóval korábban származó futtatási eredmények állnak csak rendelkezésre. Ha a modell előrejelzése sikertelen, akkor a prognózis korrekciójára csak a következő futtatás eredményei alapján van lehetőség, ami esetünkben akár 12 órát meghaladó késedelmet is szenvedhet.

Statisztikus alapú előrejelzések

A vizsgálatunk tárgyát képező statisztikai eljárásokon alapuló előrejelzések valamilyen hasonlósági metrika alkalmazásával támogatott analógias előrejelző módszert alkalmaznak. Ennek a módszernek helyenként már komoly nemzetközi hagyományai is vannak [14], de már hazánkban is megkezdődött adaptációja és fejlesztése. [15][16] A módszer célja, hogy a repülés-klimatológiai adatbázisok információit objektív tapasztalatként, prognosztikai céllal hasznosítsa. Lényege, hogy egy arra alkalmas repülés-klimatológiai adatbázisban az aktuális időjárási szituációhoz megkeresi a leghasonlóbb helyzeteket. A kiválasztott eseteket követő időszakok adatainak segítségével pedig előállítja a kívánt előrejelzési periódus meghatározott paramétereinek prognosztizált értékét. Nyilvánvaló, hogy a modell alapvetően a klimatikus adatokban megjelenő tipikus változások (pl.: látástávolság, köd feloszlásának napi menete) előrejelzésére alkalmas a leginkább és kevésbé működik az olyan szituációkban, amikor dinamikus változások alakítják az időjárást (pl.: markáns hidegbetörés következtében megszűnő köd). Az 5. ábra az előző alfejezetben már bemutatott ábrát kiegészítve szemlélteti a statisztikus modell eredményeit.



5. ábra Az egyes módszerek látástávolság előrejelzésének beválása a megadott kategóriahatárok mellett

A statisztikus modell eredményei az előrejelzési időszak egészében jelentősen meghaladják a numerikus produktumok HSS értékeit. Ez a különbség különösen számottevő a 9 órás periódus első

felében, azaz ultrarövid távon. Az időben csökkenő értékek, a modell statisztikus mivoltára vezethetők vissza, hiszen a prognózisokban megjelenő változások nem fizikailag modellezett dinamikus hatások eredményeként, hanem a kezdeti időjárási szituáció hasonlósága okán jelentkeznek. A modell hátrányaként említhetjük a futtatáshoz szükséges repülésklimatológiai adatbázist, amely jelentősen korlátozza a modell területi alkalmazhatóságát. Másrészt viszont meg kell említenünk, hogy az egyes repülőterekre vonatkozó előrejelző rendszer csak és kizárólag ebben az adatbázisban tér el egymástól, azaz a szükséges adathalmaz birtokában bármikor adaptálható akár műveleti területre is. Kiemelt előnye a statisztikus modellnek, hogy sikertelen előrejelzés esetén a legrosszabb esetben is alig több mint fél óra múlva lehetőség van a prognózis korrekciójára. Ez nagyban segíti az alkalmazhatóságát a repülésmeteorológiai támogatás során.

Esettanulmány

Az egyes alapszabványok előnyeinek és hátrányainak mérlegelésével, megfogalmazódott a kérdés, hogy a látástávolság prognózisa során az egyes módszerek korlátai kiküszöbölhetőek-e oly módon, hogy az adott repülőterre vonatkozó jobban teljesítő statisztikus előrejelzésből folyamatos legyen az átmenet a középtávon stabil HSS értékeket nyújtó utófeldolgozott numerikus produktumba. Ugyanis, ha ez megvalósítható, akkor egy olyan hibrid előrejelzés állítható elő, amely az előrejelzés sikertelensége esetén rövid időn belül korrigálható, hosszabb távon pedig megőrzi a numerikus modell azon előnyét, hogy képes a dinamikus változások előrejelzésére. A hibrid modell előrejelzése a statisztikus és a numerikus előrejelzések egyszerű lineáris kombinációjaként áll elő:

$$Látástávolság_{HIBRID} = a \cdot Látástávolság_{STATISZTIKUS} + b \cdot Látástávolság_{NUMERIKUS}$$

$$ahol a + b = 1 \text{ valamint } a \text{ és } b \in [0; 1].$$

Feltételként szabtuk meg egyrészt, hogy a súlyoknak időben és adott értéket elérve monoton csökkenőnek kell lenniük, hogy biztosítsák a fokozatos átmenetet a két módszer között. Másrészt a kezdeti időpontban észlelt valamint az arra előrejelzett numerikus modellből származó látástávolság értékeket 5 értékkategóriába soroltuk, majd a kategória különbséget egyszerű kivonással meghatároztuk. Ez a súlyozás további finomítását szolgálta, mégpedig oly módon, hogy a kis kategóriakülönbségektől a nagyobbak felé haladva monoton csökkenőnek kell lennie a numerikus modell súlyának. Ez azt a célt szolgálja, hogy a numerikus modell esetleges kezdeti pontatlanságát a statisztikus modell nagyobb súlya korrigálja. A fentiek alapján egy súlymátrix áll elő, aminek a sorai a kategória különbségeket, oszlopai pedig az előrejelzés időlépcsőit reprezentálják. A súlymátrix egy adott formájára az 1. táblázat nyújt példát. Nyilvánvaló, hogy az előrejelzés készítésénél használt súlyokat arra alkalmas verifikációs paraméterek segítségével megfelelő optimalizációs eljárással kell véglegesíteni. Mindehhez a repülésklimatológiai adatbázis két független részre kell osztani és az optimalizálást valamint a verifikációt a különálló adatsorokon kell elvégezni. Reményeink szerint ez a művelet alátámasztja azon feltevésünket, amelyet a fentiekben korábban megfogalmaztunk.

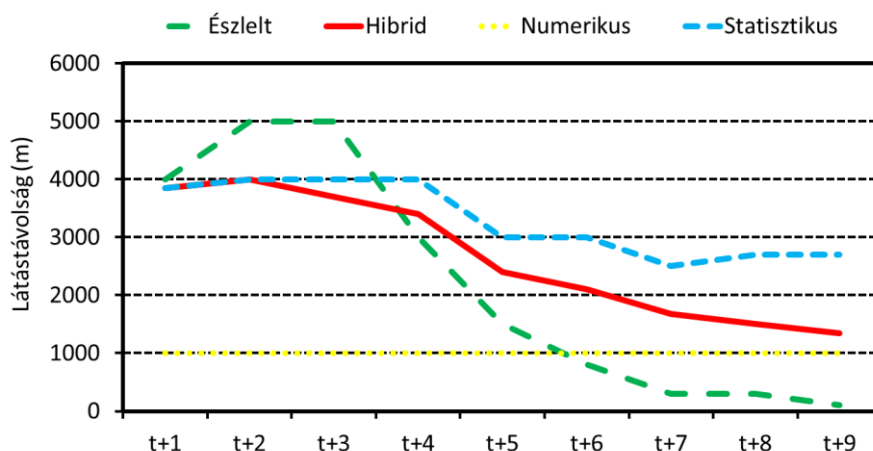
		t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6	t+7	t+8	t+9
Kategoriakülönbség	-4	1	1	1	0,9	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2
	-3	1	1	0,9	0,8	0,7	0,55	0,45	0,3	0,2
	-2	1	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,25	0,15
	-1	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,45	0,35	0,2	0,1
	0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	1	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,45	0,35	0,2	0,1
	2	1	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,25	0,15
	3	1	1	0,9	0,8	0,7	0,55	0,45	0,3	0,2
	4	1	1	1	0,9	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2

1. táblázat A megszabott feltételeknek megfelelő súlymátrix egy lehetséges alakja a statisztikus modell súlyaira

Az 1. táblázatban felhasznált súlyok segítségével az alábbiakban egy esettanulmányon keresztül mutatjuk meg, hogy a hibrid modell hogyan tud javítani a látástávolság előrejelzésén.

2013. december 23-án hazánk időjárását alapvetően anticiklonális hatások jellemezték, több felé egész nap párács, ködös volt a levegő, de helyenként a nap is kisütött. Az országtól északra elhaladó érintő hidegfront és annak felhőzete elsősorban csak az északi területeken volt hatással az időjárás alakulására. Szolnokon az éjszakai órákban szinte végig 1200 m körüli alappal rendelkező, zárt felhőzet volt jelen, emiatt a látástávolság december 23-án a hajnali órákban is csak 3-4 km-re csökkent. A zárt felhőzet aztán napközben a javulásnak sem kedvezett az észlelt maximális látástávolság 6 km volt. A kora esti órákban aztán ideiglenesen felszakadozó felhőzet miatt a látástávolság rohamos csökkenésnek indult és végül 21UTC-re tartós sűrű köd alakult ki.

A vázolt szituációból az esti romlás prognózisa érdekes számunkra, így a 15UTC-kor induló 9 órás előrejelzési periódus képezi vizsgálatunk tárgyát. A numerikus előrejelzés adatai a 12UTC-s modellfuttatásból, a statisztikus modell prognózisa pedig a 14:45UTC-kor elkészült és az azt megelőző jelentő táviratok adataiból származnak. A szituáció szándékosan olyan helyzetet dolgoz fel, amikor a numerikus modell előrejelzése már a kezdőidőpontban jelentősen eltér a valós, észlelt adatoktól. Az egyes modellfuttatások eredményeit a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra Az észlelt és az egyes módszerek által előrejelzett látástávolság értékek

A numerikus modell előrejelzésében stabilan megjelenő 1000 m-es látástávolság 1000 m-es vagy annál kisebb értékeket jelöl, pusztán az utófeldolgozó eljárás módszertana miatt nincs lehetőség az 1 km alatti értékek pontosabb megjelenítésére. Az ábrán látható, hogy – amint a fentiekben említettük, – a numerikus modell alaposan elvétette az előrejelzést már a vizsgált periódus elejétől. A felhőzet felszakadásából származó dinamikus változásokat pedig a statisztikus modell nem tudta lekövetni az előrejelzési időtartomány második felében. Ebben a szituációban a látástávolság dinamikusabb romlását a három vizsgált modell közül a hibrid követte le a legjobban.

A tervezett súlyoptimalizálás és a verifikáció reményeink szerint megerősíti a hibrid modell használhatóságát, ami a fokozatos átmenetet biztosíthatja a numerikus és statisztikus modellek prognózisai között. Lehetőséget biztosítva ezzel a jobb látástávolság előrejelzések használatához a meteorológiai támogatás során.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a pilóta nélküli repülő eszközök történeti előzményeinek példáján keresztül irányította rá a figyelmet a tárgyalt repülőgépek meteorológiai támogatásának fontosságára. Hangsúlyosan kiemelve a jelenkor általános feladatait korlátozni képes látástávolság szerepét. Mivel a látástávolság előrejelzése ma is kihívás a repülésmeteorológiában dolgozó szakembereknek, ezért összefoglaló jelleggel bemutatásra kerültek a látás prognózisának alapvető módszertani megközelítései. A bemutatott modelleknek megvannak a maguk előnyei és hátrányai. A cikk utolsó részében egy esettanulmányon keresztül mutattuk meg, hogy az alap módszerek kombinálásával a látástávolság előrejelzése tovább fejleszthető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PALIK MÁTYÁS (szerk.) Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Nemzeti Közszerződési Egyetem, Budapest, 2013, ISBN: 978 963 08 6923 2
- [2] ZALOGA, STEVEN J. Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare 1917-2007, Osprey Publishing, 2008, ISBN: 978 1 84603 243 1
- [3] WERRELL, KENNETH The evolution of the cruise missile, Air University Press, Maxwell AFB, Alabama, 1985, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a162646.pdf>
- [4] GERTLER, J. U.S. Unmanned Aerial Systems, Congressional Research Service, January 3, 2012, <https://www.fas.org/srg/crs/natsec/R42136.pdf>
- [5] JACOBS, A. J. M. – MAAT N. Numerical guidance methods for decision support in aviation meteorological forecasting, Weather and Forecasting, 20, 82–100, 2005
- [6] MONASH UNIVERSITY Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html
- [7] BLOM, JOHN DAVID Unmanned Aerial Systems: a historical perspective, Combat Studies Institut Press, Fort Leavenworth, Kansas, 2010, ISBN 978 0 9823283 0 9
- [8] JONES, A. CHRISTOPHER Unmanned aerial vehicles (UAVs) an assessment of historical operations and future possibilities, Research Department Air Command and Staff College, USAF, 1997, <https://www.fas.org/irp/program/collect/docs/97-0230D.pdf>
- [9] DREW, J. G. – SHAVER, R. – LYNCH, K. F. – AMOUZEGAR, M. A. – SNYDER, D.: Unmanned aerial vehicle end-to-end support considerations, Rand Corporation, US Air Force, 2005

-
- [10] GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ – KARDOS PÉTER – KURUNCZI RITA BOTTYÁN ZSOLT Development of a Complex Dynamical Modeling System for the Meteorological Support of Unmanned Aerial Operation in Hungary
- [11] CHEOL-HAN BANG – JI-WOO LEE – SONG-YOU HONG Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 24., 2008
- [12] WANTUCH FERENC Visibility and fog forecasting based on decision tree method, Időjárás, 105, 2001
- [13] BLANKERT, RICHARD L. – HADJIMICHAEL, MICHAEL Data mining numerical model output for single-station cloud-ceiling forecast algorithms, Weather and Forecasting, 25, 2007
- [14] HANSEN, B. K. A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather and Forecasting, Vol. 22, 1319–1330., 2007
- [15] BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – TUBA ZOLTÁN – HADOBÁCS KATALIN – JÁMBOR KRISZTIÁN Creation of a new climatic database for aviation meteorological support system of unmanned aerial vehicles (in Hungarian), Repüléstudományi Közlemények 24, (3), 11-18., 2012
- [16] TUBA ZOLTÁN – VIDNYÁNSZKY ZOLTÁN – BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – HADOBÁCS KATALIN Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in fuzzy logic-based meteorological support system of unmanned aerial vehicles, AARMS, Vol. 12. 2., 2013