

Horváth Gábor

A helyszíntől független katonai repülőtéri irányítás optikai rendszerének javasolt verifikációs kerete

Attól függetlenül, hogy polgári vagy katonai felhasználásról beszélünk, a helyszíntől független repülőtéri irányítás legfontosabb komponense a mozgókép-információt szolgáltató optikai rendszer. Ennélfogva elengedhetetlen, hogy ez a rendszer megfelelő mértékben visszatükrözze a telepítési helyszín, valamint az alkalmazói sajátosságok ötvözetéből készült specifikus elvárásokat. Jelen publikáció keretében javasolt verifikációs eljárásrend ezen elvárások katonai keretrendszerét hivatott biztosítani.

Kulcsszavak: légiforgalmi irányítás, távoli toronyirányítás, helyszíntől független toronyirányítás

1. Bevezetés

Jelen tanulmány annak a kutatómunkának a legújabb eredménye, amelynek folyamatában lefektettem a helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz (Mil-rTWR) szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszerét [1], bemutattam a kapcsolódó SESAR¹-tapasztalatokat [2], és felvázoltam a rezilienciára fókuszáló katonai alkalmazásban rejlő lehetőségeket [3]. Mindezek figyelembevételével fontos, hogy az olvasó a kifejlesztett verifikációs keretrendszert az előbb felsorolt előzmények kontextusában vizsgálja, hiszen az ezekben meghatározott posztulátumok (például általános rendszerleírás, a rendszer céljának meghatározása, a rendszer elemei stb.) ismerete elengedhetetlen, hogy az alább kifejtett gondolatokat helyesen értelmezzük.

Az informatikai fejlesztésekből kiindulva a verifikáció lényege, hogy a rendszer megfeleljen a meghatározott követelményeknek és specifikációknak. Ennek a tevékenységnek a keretében főleg annak vizsgálatára kerül sor, hogy a kifejlesztett termék megfelelően működik-e és a tervezett funkciókat képes-e biztosítani. Ennélfogva a verifikáció során a rendszer teljesítményét és hatékonyságát célszerű tesztelni és értékelni, ezáltal maximalizálva a tervezhető beválás hatékonyságát.

A telepítési helyszín, valamint az alkalmazói sajátosságok ötvözetéből készült specifikus Mil-rTWR elvárások megfelelő visszatükrözése céljából először keretbe foglalom az interoperabilitási követelményeket, valamint a rendszer elérhetőségével és a szolgáltatás folytonosságával

¹ Single European Sky ATM Research.

összefüggő igényeket. Ezt követően bemutatom az általam javasolt verifikációs eljárás keretrendszerét, majd végül az üzemeltetési megfontolásokkal foglalom össze a leírtakat.

2. Interoperabilitási követelmények kerete

Minden helyszíntől független repülőtéri irányítói rendszer esetében biztosítani kell, hogy szükség szerint az alkalmazó által meghatározott funkciók működőképes állapotban rendelkezésre álljanak. Jelenleg azonban nem ismerünk olyan rendszert, ahol a működőképesség feltétel nélkül és állandó jelleggel biztosítható, emiatt és a megfelelő intézkedések meghozatala érdekében gondoskodni kell arról, hogy az üzemeltető – és szükség esetén az operatív alkalmazó – figyelmét a rendszer felhívja annak rendellenes működésére és a hibás funkcionalitásra. Az ezekre adandó válaszingtézkedéseket határozhatjuk meg az interoperabilitási követelmények keretében, amely általános esetben kezeli (1) a rendszerintegritással, (2) a rendszer rendelkezésre állásával és a szolgáltatás folytonosságával, valamint (3) a szinkronizáció tárgykörével összefüggő kérdéseket.

2.1. Rendszerintegritás

Az rTWR rendszer alapvető funkcióját tekintve információt szolgáltat, amely alapján a légi-forgalmi irányító biztosítja az illetékességi körzetében közlekedő légi járművek biztonságos, rendszeres, gyors és hatékony áramlását. Ennélfogva a rendszerintegritás keretének meghatározása során közel azonos szempontok játszanak majd szerepet a biztonságcentrikus polgári és a műveletcentrikus katonai megközelítés esetében is, hiszen mindkét szemlélet alapján kritikus, hogy az rTWR rendszer által szolgáltatott információk integritása ne sérüljön, vagy ha sérül, arról tudomást szerezzen az alkalmazó és az üzemeltető. Ennek alapján a rendszerintegritással összefüggő keret meghatározásakor a biztonságra épülő, vagy a műveleti logika által meghatározott prioritásnak megfelelően biztosítani kell, hogy az rTWR optikai rendszer:

- szükség esetén képes legyen megjeleníteni az összes kapcsolódó alrendszer és adatforrás valós időbeli státuszát;
- (tanulóalgoritmusai) útján meghatározza, hogy az adott meghibásodás befolyásolja-e a teljes rendszer alaprendeltetéséből adódó feladatellátást;
- szüntesse meg a meghibásodott alrendszerből származó adatok felhasználását;
- redundáns alrendszer meghibásodása és a tartalék alrendszer működőképessége esetén biztosítsa a kieső adatokat;
- valós időben jelenítse meg a rendszerintegritást vizsgáló szubrutin kompromittálódását és/vagy a funkció elvesztését.

2.2. Rendelkezésre állás és a szolgáltatás folytonossága

Mivel sok esetben a légiforgalmi szolgáltatások biztosítása nem különíthető el diszkrét időszakokra, így egy helyszíntől független repülőtéri irányítói szolgáltatást biztosító rendszerrel szemben jogosan merül fel az az elvárás, hogy garantálja a folyamatos üzemszerű rendelkezésre

állást. Ennélfogva az általános informatikai megközelítésből ismert rendelkezésre állásnak és a szolgáltatás folytonosságának koncepcióját nem célszerű külön értelmezni, ha egy rTWR rendszerről van szó. További fontos kiegészítés, hogy meg kell különböztetni a rendszer eredendő (A_i) és üzemi (A_o) rendelkezésre állását. Előbbi a mérnöki tervezésből vezethető le, míg az utóbbi az üzemeltetés milyenségét (például logisztikai ellátottság, karbantartási feladatok ellátása) fogja visszatükrözni. Ezek kiszámítására az 1. táblázatban szereplő képletek alkalmazása javasolt.

1. táblázat
Az eredendő és az üzemi rendelkezésre állás kalkulációja [4]

| Vizsgálat tárgya | Vizsgálat képlete | Vizsgálat eredménye |
|--|------------------------------------|---|
| eredendő rendelkezésre állás | $A_i = \frac{MTBCF}{MTBCF + MTTR}$ | A tervezés során elért megbízhatóság és karbantarthatóság szintje, illetve a gyártási folyamat pontossága. |
| üzemi rendelkezésre állás | $A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$ | Ai eredménye + a karbantartás-menedzsment kvalitása, javításhoz szükséges elemek rendelkezésre állása, rendelési/szállítási idők stb. |
| Rövidítések kifejtése: <ul style="list-style-type: none"> • MTBCF (Mean Time Between Critical Failures): a kritikus meghibásodások között átlagosan eltelt idő; • MTTR (Mean Time To Repair): a tervezésnek megfelelő funkcionalitás eléréséhez szükséges átlagos javítási idő; • MTBM (Mean Time Between Maintenance): a karbantartások között átlagosan eltelt idő; • MDT (Mean DownTime): kiesések átlagos ideje, ami magában foglalja a karbantartások és a javítások elvégzésének tényleges idejét, valamint figyelembe veszi az ezekhez szükséges személyi és anyagi feltételek rendelkezésre állásához szükséges időt. | | |

Az 1. táblázatban szereplő képletekkel összefüggésben ökölszabályként elfogadhatjuk, hogy (1) az A_i és A_o értéket minden rTWR alrendszer (például képpalkotó egységek, adatkapcsolat, megjelenítő elemek) vonatkozásában külön meg kell határozni, (2) A_i és A_o soha nem vehet fel 0 és 1 értéket, de (3) a vizsgált (al)rendszer rendelkezésre állása annál jobb, minél jobban közelít a megadott képlet szerint számított érték 1-hez, (4) MTBCF és MTBM értékek egyedi vizsgálata esetén a nagyobb érték a jobb, (5) MTTR és MDT értékek egyedi vizsgálata során az alacsony érték a jobb.

2.3. Szinkronizáció

Egy rTWR rendszer esetében döntő szerepe van az egyes komponensek közötti kommunikációs folyamatok összehangolásának, vagyis a szinkronizációnak. Ennek révén a rendszert alkotó szenzorok, adatkapcsolatok, valamint megjelenítő és vezérlő elemek az operatív követelményeknek megfelelő időkeretben látják el feladataikat. Ehhez elengedhetetlen, hogy minden különböző alrendszer által szolgáltatott adatcsomag pontos és egymással összehangolt időbélyeggel rendelkezzen, miközben törekedni kell – az általános jelátvitelre vonatkozó fizikai törvényszerűségek figyelembevételével – a késleltetés minimalizálására is.

3. Verifikációs keret

Jelen tanulmány szempontjából a verifikációs keret lefektetése során a legfontosabb, hogy meghatározzuk azokat az általános megfontolásokat, amelyek mentén felépíthetők a katonai

feladatok támogatására fejlesztett rTWR optikai rendszerek tesztelését és ellenőrzését biztosító mechanizmusok. Ez a folyamat alapvetően – de ahogy azt a 3. táblázatból láthatjuk nem egészében – a verifikáció négy, részben hierarchikus elvek alapján felépített fundamentumának alkalmazására épül, amelyek sorban a következők: megtekintés, demonstráció, teszt és az értékeléssel egybekötött elemzés [5]. Megtekintés során az értékelő – a meghatározott követelmények sorvezetőjét alkalmazva – szemrevételezi azokat az elemeket, amelyek a rendszert alkotják. Ezt követően a demonstráció keretében a rendszertől elvárt alapvető kezelhetőség ellenőrzésére, míg a tesztelés alkalmával egy előre meghatározott forgatókönyv szerinti vizsgálatra kerül sor. Végül az alkalmazói jóváhagyás és/vagy a technológiai megfelelőség irányelvei alapján végrehajtott elemzésben megállapítják, hogy az adott (al)rendszer jelen formájában milyen mértékben képes eleget tenni a meghatározott elvárásoknak.

Mindezek figyelembevételével meg kell adnunk – a lehető legobjektívebb mérési eljárást lehetővé tevő – azon referenciateszteknek a sorát, amelyekkel ellenőrizhetjük a rendszer működőképességét és funkcióit. Ezeknek azonos logika mentén kell felépülniük, és ezt a tesztleírásoknak is vissza kell tükrözniük, így ezek esetében az adott teszt célját visszatükröző rövid, tömör elnevezést kell alkalmazni. Ezt követi az adott teszt pontos és részletes célmeghatározása, majd leírjuk a végrehajtási környezetet, megadjuk az alkalmazott mérési paramétereket és eszközöket, illetve megszabjuk a végrehajtás menetét és az eredmények dokumentálásának módját is. Erre elsősorban a tesztek reprodukálhatósága, másodsorban az egyértelműség követelménye miatt van szükség. Arra azonban törekedni kell, hogy az egyes tesztek biztosítsák a különböző környezeteket és változatokat lekövetni képes rugalmasságot. Ezek alapján az alábbi általános megközelítést javaslom alkalmazni az egyes rTWR optikai rendszerelemekre specializált tesztek elkészítése során:

- rögzítsük a teszt pontos idejét, a résztvevők körét és feladataikat;
- rögzítsük a végrehajtani tervezett teszt típusát és az alkalmazott metodikát;
- rögzítsük az összes tesztelni kívánt berendezés egyedi azonosítóját, funkcióját és konfigurációját;
- ellenőrizzük a környezeti feltételeket, és határozzunk meg több jól elkülöníthető vizuális referenciapontot;
- győződjünk meg arról, hogy a tesztelni kívánt elemet az előírásoknak megfelelően installálták;
- rögzítsük a teszteredményeket;
- az elvárható mértékben szűrjük ki a helytelen adatokat és eredményeket.

3.1. Észlelés, felismerés és azonosítás példa-referenciatesztje

Egy helyszíntől független katonai repülőtéri irányítói szolgáltatás biztosításához szükséges optikai rendszer verifikációja során – a Johnson-kritériumra építkező – észlelésre, felismerésre és azonosításra (DRI²) vonatkozó követelmények segítségével a legcélszerűbb egy példa-referenciatesztet szemléltetni, mivel ennek segítségével nemcsak az egyes alrendszerek funkcionalitásáról, de azok interdependenciájáról is képet kaphatunk. Jelen alfejezet címét egyben tekinthetjük a teszt célját visszatükröző rövid, tömör elnevezésnek is. A teszt célja,

² *Detection, Recognition, Identification.*

hogyan megállapítsuk az egyes közepes és könnyű légi járművek, valamint gépjárművek és személyek különböző, operátor által felügyelt területre – vagyis a légiforgalmi irányító illetékségi körzetére – vetített DRI-értékét. A mérések vonatkozásában a következő környezeti referenciaparamétereket határozzuk meg: a megvilágítás 10 000 lx vagy több, a látástávolság 15 000 m vagy több, az égbolt színhőmérséklete ~5 000 K. A mért DRI-értékek regisztrációját a 2. táblázat hivatott biztosítani.

2. táblázat
DRI példatáblázat [1]

| Felügyelt terület | Célpont | Célpont mérete (m) | Panorámakamera | | | PTZ kamera | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | | | D (m) | R (m) | I (m) | D (m) | R (m) | I (m) |
| Végső megközelítési szakasz | Közepes légi jármű | 7,0 × 7,0 × 27,0 | | | | | | |
| Forgalmi kör | Könnyű légi jármű | 3,0 × 3,0 × 9,0 | | | | | | |
| Futópálya | Gépjármű | 2,5 × 1,5 × 4,0 | | | | | | |
| Gurulóút | Személy | 1,7 × 0,5 × 0,5 | | | | | | |

Ez a teszt természeténél fogva nem hajtható végre az érintett légiforgalmi irányító állomány nélkül, vagyis a teszt során nagy hangsúlyt kap az alkalmazói jóváhagyás. Ez megköveteli az eljárásrend további specifikálását, így az alkalmazói jóváhagyás feltételrendszerének felvázolását:

- a teszt során a repülőtérré jellemző forgalmi elemeket jelenítsék meg;
- az alkalmazói jóváhagyásba bevont állomány rendelkezzen a repülőtérré vonatkozó érvényes légiforgalmi irányító szakszolgálati engedéllyel, egy tesztet egyszerre legalább két megfigyelővel hajtsunk végre;
- a megjelenített mozgóképet az előírásoknak megfelelő távolságból kell megtekinteni;
- rögzítsék a megjelenített mozgóképet;
- opcionálisan a megjelenített mozgóképpel korreláló rádiókommunikációt azzal egy időben játsszák le;
- a megfigyelők által szolgáltatott meghatározott célpontokra vonatkozó észlelés, felismerés és azonosítás időpontjait és/vagy időbélyegeit rögzítsék, majd ennek alapján;
- határozzák meg az egyes DRI-értékeket (méterben kifejezve).

Ez az eljárásrend lehetővé teszi, hogy – az elemzés elvégzéséhez szükséges – pontos adatokkal töltsük fel a 2. táblázatot.

3.2. A verifikációs eljárások összefoglaló áttekintése

Egy verifikációs eljárás során számos tényezőt kell figyelembe venni annak érdekében, hogy a vizsgált rendszerről, főleg annak képességeiről és funkcionalitásáról helyes képet kapjunk és ennek alapján a megfelelő következtetéseket vonjuk le. Annak ellenére, hogy jelen publikáció kerete nem teszi lehetővé – és valószínűleg nem is célja –, hogy minden (al)rendszer minden forgatókönyvét részletesen felvázolja, de az irányadó gondolatok támogatása érdekében

bemutatom az rTWR optikai rendszer vonatkozásában mérvadónak tekintett verifikációs technikákat összefoglaló 3. táblázatot.

3. táblázat
Verifikációs eljárások összefoglaló áttekintése [a szerző]

| Verifikációs technika | Alkalmazás | Ismertetés |
|--|---|--|
| megbízhatósági előrejelzés és modellezés | tervezés legkorábbi szakaszától a teljes életcikluson át | Magában foglalja a rendszer blokkdiagramjának értékelését, valamint az egyes javítási adatokból és komponenshibákból táplálkozó rendelkezésre állás szimulációját. Az így kapott modellt a rendszer életciklusa során meghatározott időközönként felül kell vizsgálni. |
| (általános) kockázatelemzés | tervezéskor | A tervezési szakaszban számos kvalitatív és kvantitatív kockázatelemzés végezhető el, mint például: <ul style="list-style-type: none"> • meghibásodások és azok hatásainak elemzése, hogy beazonosíthatóvá váljanak a gyakori meghibásodásra hajlamos, valamint a kritikus fontosságú komponensek (képet adhat a redundancia mértékéről is); • hibafaelemzés mint egyfajta top-down megközelítést alkalmazó penetrációs teszt. |
| karbantarthatósági elemzés | tervezéskor | A rendszer egészének és az egyes alkotóelemeknek a vizsgálat a karbantarthatóság szempontjából, ami magában foglalja a humán faktort is. |
| szoftverbiztonsági elemzés | szoftverfejlesztéskor | A rendszer egészének és az egyes alkotóelemeknek a vizsgálat a szoftverbiztonsági szempontból (NATO STANAG 4452 és/vagy EUROCAE ED-153 figyelembevételével). |
| kibervédelmi kockázatelemzés | szoftverfejlesztéskor és opcionálisan a teljes élettartamon keresztül | A rendszer egészének és az egyes alkotóelemeknek a vizsgálat a kibervédelmi szempontból. A kibervédelmi kockázatelemzéssel kapcsolatban célszerű megfontolni az időszakos felülvizsgálatokat (pl. ISO/IEC 27005:2022 és/vagy ANSI/ISA-62443-3-2-2020). |
| megbízhatósági vizsgálat | fejlesztéskor és opcionálisan a teljes élettartamon keresztül | A megbízhatósági vizsgálat pontossítható a megbízhatósági előrejelzés. Ennek egyik legjobb eszköze a laboratóriumi alkalmazásból ismert rendszerélettartam-tesztek, amelyek arra törekednek, hogy szimulálják az életciklus egy részére (vagy egészére) vetített környezeti körülményeket. Ezáltal beazonosíthatóvá válnak az előregedésből és a környezeti hatásokból származó általános problémák. |
| jóváhagyói/megfelelőségi teszt | fejlesztéskor és telepítéskor | Ennek segítségével ellenőrizhető, hogy a rendszer működőképessége és funkcionálitása megfelel-e a követelménytámasztó elvárásainak. |

A 3. táblázat elkészítése során figyelembe vettem a Európai Repülésbiztonsági Ügynökség által közzétett releváns dokumentumokban foglalt útmutatásokat [6], [7], az általánosan alkalmazható verifikációs eljárások összefoglalását [5], valamint felhasználtam a SESAR PJ.05-02 (*multiple remote tower module*) projekt kapcsán megszerzett tapasztalataimat.

4. Összefoglalás

A modern kori haditechnikai fejlesztések metodikája nem sokban különbözik az alapvetően polgári célokat szolgáló kutatás-fejlesztések eljárásrendjétől [8], ráadásul egyes esetekben

nemcsak az adott eszköz elvi felépítése, de még bizonyos komponensei is komoly hasonlóságot mutathatnak. Ezt a megállapítást jól példázza az rTWR technológia, amelynek az általános polgári megközelítés értelmében meghatározott célja, hogy – bizonyos tekintetben és mértékben – felülmúlja a konvencionális irányítótoronyokból biztosított szolgáltatás minőségét [9]. Ezzel párhuzamban a katonai célú alkalmazásba vétel akkor válik célszerűvé, hogyha a technológia érettségi szintje garantálja a szolgáltatás rezilienciájának növelését és a műveleti képességek skálájának fokozását. Az előbbieken meghatározott két célszerűségi feltételt valamilyen formában mérhetővé kell tenni, és ennek lehet egyik eszköze a jelen tanulmányban ismertetett verifikációs keretrendszer. Ennek összeállításakor arra törekedtem, hogy (1) kellő mértékben specifikus legyen és így visszatükrözze az rTWR elvi felépítését és az optikai rendszer célját, miközben (2) elegendő rugalmasságot tesz lehetővé, aminek eredményeként lehetővé válik a katonai műveletek jellegzetességének – mint például a stacioner és fix telepítésű variációk különbözőségeinek – beágyazása.

A felvázolt verifikációs struktúra alapján megalkotott, egyben konkrét, helyfüggetlen toronyirányító rendszer értékelésére készített vizsgálat során törekedni kell arra, hogy az eredmény a lehető legegységesebben támogassa a katonai célú alkalmazásba vétellel összefüggő döntéshozatali folyamatot. Ezzel a megoldással gyakorolhatjuk azt az innovatív szemléletmódot, amellyel felépíthető a korszerű adaptív légierő.

Felhasznált irodalom

- [1] Horváth G., „A helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszere,” *Repüléstudományi Közlemények*, 34. évf. 2. sz. pp. 37–51. 2022. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2022.2.4>
- [2] Horváth G., „A helyszíntől független repülőtéri irányítás katonai alkalmazhatóságának vizsgálata a kapcsolódó SESAR-projekt tapasztalatainak tükrében,” *Repüléstudományi Közlemények*, 34. évf. 2. sz. pp. 95–106. 2022. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2022.2.8>
- [3] Horváth G., „A helyfüggetlen toronyirányítás, mint a reziliens katonai légiforgalmi szolgáltatás eszköze,” *Haditechnika*, 57. évf. 2. sz. pp. 68–72. 2023. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.13>
- [4] J. Manary, *Operational Availability Handbook*. Rome, NY, Reliability Analysis Center, 2004.
- [5] K. Meade, S. Rosenberg, *A Practical Guide to Adopting the Universal Verification Methodology (UVM)*, 2. ed. San Jose, California, Cadence Design Systems, 2013.
- [6] European Aviation Safety Agency, *Technical and operational requirements for remote tower operations*. 2017. Online: www.easa.europa.eu/downloads/44661/en
- [7] European Aviation Safety Agency, *Guidance Material on the implementation of the remote tower concept for single mode of operation*. 2015. Online: www.easa.europa.eu/downloads/18782/en
- [8] Porkoláb I., Hennel S., Hegedűs E., „Modernizáció és innováció (1.): A megnövekedett sebességű haditechnikai kutatás-fejlesztés erősödő szerepe a modern katonai stratégiában egy amerikai példa alapján,” *Honvédségi Szemle*, 149. évf. 2. sz. pp. 14–26. 2021. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2021.2.2>

- [9] Z. Yongli, Y. Zhengning, Z. Liang, „Analysis of Remote Tower System,” in *Proc. of IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology*, 2020. Online: <https://doi.org/10.1109/ICCASIT50869.2020.9368521>

A Proposed Framework for Verifying the Optical System of Location-Independent Military Aerodrome Control

Irrespective of the context, be it civilian or military application, the pivotal element in achieving aerodrome control that transcends geographical boundaries is the optical system responsible for capturing and relaying dynamic visual data. Thus, it is imperative for this system to accurately align with the distinct requirements of the deployment site and the amalgamation of user attributes. The proposed verification process, outlined within this publication, aims to establish a structured framework to address the military requirements.

Keywords: *air traffic control, remote tower control, location-independent tower control*

Horváth Gábor
főtiszt
Honvédelmi Minisztérium
Állami Légügyi Főosztály
Légiforgalmi Felügyeleti Osztály
horvath.gabor3@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-2939-1426

Gábor Horváth, MSc
Senior ATM Officer
Ministry of Defence
State Aviation Department
ATM Supervisory Division
horvath.gabor3@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-2939-1426

Jelen mű a Kulturális és Innovációs Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.