

Horváth Gábor

A helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszere¹

Általános értelemben kijelenthető, hogy a megfelelő videóadatfolyam-átviteli technológiára épülő operatív feladat-végrehajtás az egyik legfontosabb követelmény a helyszíntől független toronyirányítói szolgáltatásokkal szemben. Az ezzel összefüggésben felmerül – és a polgári felhasználáson túlmutató – alkalmazás érdekében meg kell határozni azt a specifikus keretrendszert, amelynek segítségével megvalósíthatóvá válik a technológiában rejlő potenciál katonai-védelmi célú felhasználása.

Kulcsszavak: légi forgalmi irányítás, távoli toronyirányítás, helyszíntől független toronyirányítás

1. Bevezetés

A negyedik ipari forradalom vívmányai nemcsak a hétköznapi életünkre vannak hatással, hanem új perspektívákat nyitnak a katonai légi közlekedés területén is. Ez utóbbi vonatkozásában az egyik legismertebb példaként kell megemlíteni a repülőterek legikonikusabb épületeit számúzni szándékozó úgynevezett „virtuális tornyokat”, amelyek megteremtik a helyszíntől független repülőtéri irányító és repülőtéri repüléstájékoztató szolgáltatások biztosításának lehetőségét (rTWR²)[1].

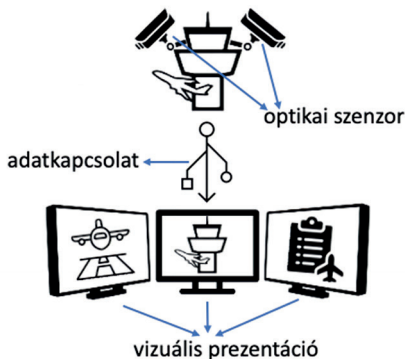
A katonai alkalmazásba vétel során, mint minden technológia, így a rTWR esetében is kritikus fontosságú az időfaktor [2], mivel az erőforrások gyors és hatékony elosztása érdekében elengedhetetlen a pontos légi helyzetkép előállítása, valamint az operatív szintű döntéshozatali ciklusok optimalizálása. Ennek kapcsán fontos hangsúlyozni, hogy általános értelemben az irányítótorny feladata a repülőtéri forgalom számára légi forgalmi irányítói szolgáltatás biztosítása [3], ezért a katonai repülőtereken a nevezett szolgáltatásban bekövetkező kiesések és késések közvetlen negatív hatást gyakorolnak a műveletek végrehajtására.

¹ Jelen tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

² Remote tower.

Az előbb említett negatív hatások elkerülésében döntő szerep juthat az rTWR-technológiának, hiszen az ezzel összefüggésben eddig megjelent magyar [4] és nemzetközi [5] kutatások számos olyan előnyt prognosztizálnak, amelyek fokozhatják a műveleti körülmények közötti hatékony alkalmazhatóságot [6].

A konvencionális irányítótorony és az rTWR közötti elsődleges különbség a vizuális megfigyelés végrehajtásának módjából fakad. Amíg az előbbi esetben a megfigyelést alapvetően szabad szemmel, rossz látási körülmények esetén – ha rendelkezésre áll – ATS³ felderítő rendszerrel kell elvégezni [7], addig az utóbbi esetben a légi forgalmi irányító illetékességi területét digitális képalkotó eszközök segítségével kell vizuálisan megjeleníteni. Digitális képalkotó eszközök alatt elsősorban olyan kamerákat kell érteni, amelyek az elektromágneses spektrum szabad szemmel látható és nem látható tartományában működnek (optikai szenzor), miközben a megjelenítést folyadékkristályos kijelzők vagy projektorok (vizuális prezentáció) biztosítják. Az optikai szenzor és a vizuális megjelenítő egység között szükséges adatkapcsolatról vezeték és/vagy vezeték nélküli hálózat gondoskodik. A továbbiakban az optikai szenzor(ok)ra, a vizuális prezentációra, valamint az adatkapcsolatra együttesen az 1. ábrával szemléltetett rTWR optikai rendszerként fogok hivatkozni.



1. ábra

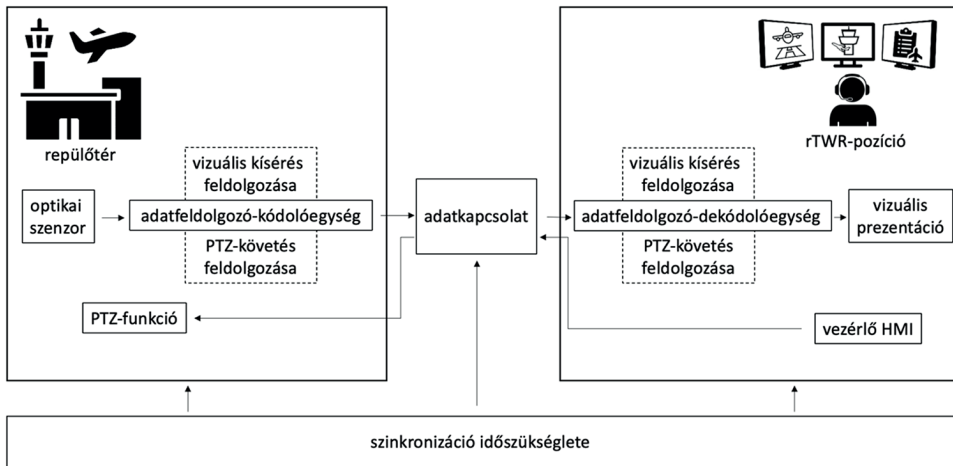
A rTWR optikai rendszer egyszerű szemléltetése [a szerző]

Jelen tanulmány a helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális kritériumok keretének felállítását célzó sorozat első része, amelyben a teljesítménystandardokra vonatkozó követelményrendszert vázolom fel, a sorozat második részében megvizsgálom az interoperabilitási elvárásokat, a harmadik részben ismertetem az elméleti verifikációs eljárást, majd ezt követően a negyedik részben elvégzem a szükséges kibervédelmi elemzést [8].

³ Air traffic services.

2. Általános rendszerleírás

A minimális teljesítménystandardok meghatározása érdekében el kell készíteni az rTWR optikai rendszer általános leírását, amely egyben alapjául szolgálhat a későbbi műszaki megvalósításoknak is. Ebből a célból mutatom be a 2. ábrán látható elméleti blokkvázlatot, amely kapcsán hangsúlyozni kell, hogy egy konkrét konfiguráció – az egyedi igényekhez igazított megvalósítás függvényében – ettől eltérhet.



2. ábra

Az rTWR optikai rendszer elméleti blokkvázlata [a szerző]

A blokkvázlat elkészítése során figyelembe vettem az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség által közzétett releváns dokumentumokban foglalt útmutatásokat [9], [10], valamint felhasználtam a SESAR⁴ PJ.05-02 (*Multiple Remote Tower Module*) projekt⁵ kapcsán megszerzett tapasztalataimat.

2.1. Az rTWR optikai rendszer célja

A katonai alkalmazási követelményeknek megfelelő rTWR optikai rendszer céljának meghatározása során figyelembe kell venni a katonai légi forgalmi irányító szolgálat ellátásának rendjét, amely az illetékességi körzetben a műveleti és az általános repülési szabályok szerint üzemelő légi járművek biztonságos, rendszeres, gyors és hatékony áramlásának elősegítésén alapszik [7], [11], [12].

⁴ Az Egységes Európai Égbolt ATM Research közös vállalkozás egy intézményesített európai köz- és magánszférapartnerség, amelyet 2021-ben hoztak létre, hogy kutatáson és fejlesztésen keresztül felgyorsítsa a digitális európai égbolt megvalósítását.

⁵ A szerző SESAR PJ.05-02 projekt katonai koordinátora, a polgári közreműködő felek között megtalálható a HungaroControl Magyar Légi Forgalmi Szolgálat Zrt. (HC Zrt.), a Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) és a Frequentis AG.

Ennek megfelelően a helyszíntől független katonai repülőtéri irányítói szolgáltatás biztosításához szükséges rTWR optikai rendszer célja a toronyirányító felelősségi körzetébe tartozó légtér és repülőtér munkaterületének digitalizációja, valamint annak pontos, valós idejű megjelenítése.

Az előző bekezdésben meghatározott definícióval összefüggésben – a katonai alkalmazásra való tekintettel – célszerű hangsúlyozni, hogy a megjelenítés nemcsak légi forgalmi szolgáltatások biztosításához járulhat hozzá, hanem hasznos eleme lehet a NATO hálózatalapú képességrendszerének (NNEC⁶) is.

2.2. Optikai szenzor

Általános értelemben a szenzorok olyan eszközök, amelyek érzékelik és mérik a megfigyelésük alatt tartott környezetben bekövetkező fizikai, kémiai vagy biológiai állapotváltozásokat, majd a mérési eredményeket és paramétereket információhordozó jellé transzformálják [13].

Ennélfogva az irányító felelősségi körzetébe tartozó légtér és repülőtéri munkaterület valós idejű digitalizációjáért, így lényegében a megfigyelés alatt tartott terület felől a kameraobjektíven keresztül érkező fény jelátalakítását követően a digitális mozgóképalkotásért az optikai szenzor a felelős. Az így előállított nyers (RAW-formátumú) képinformáció az irányító számára értelmezhetetlen lenne, emiatt a felhasználás helyére továbbítás előtt még fel kell azt dolgozni, amely feladatot a számításgépes algoritmusok futtatására képes adatfeldolgozó egységek látják el.

Az optikai szenzor képességei tekintetében a szenzor- és pixelméret, valamint a felbontás által meghatározott alábbi specifikációk döntő fontosságúak [14]:

- kvantumhatásfok (QE⁷);
- dinamikataromány (DR⁸);
- jel-zaj arány (SNR⁹).

Az optikai képalkotásért felelős szenzor felületén fényérzékeny diódák találhatók, amelyek a beérkező fényt elektronná alakítják át. A szenzorra érkező fotonok és az azokból generált elektronok számának százalékban meghatározott arányát nevezzük kvantumhatásfoknak. Minél nagyobb ez az arány, annál több elektront tud létrehozni az adott szenzor a beérkező fotonokból, így a kvantumhatásfok alapjaiban határozza meg egy mozgókép hasznos információtartalmát. Az információtartalom azonban nem csak a nagy QE-értéktől függ, hanem a szenzor fizikai méretétől is. Ennek eredményeként kijelenthető, hogy a nagyobb szenzor jobb képet eredményez [15].

A digitális képalkotás vonatkozásában további meghatározó paraméter a szenzor dinamikatarománya, amely az információ sötét és világos részleteinek egyidejű megjelenítését foglalja magában. E két paraméter mennyiségi arányát a logaritmikus skálán határozzuk meg, ezáltal a dinamikataromány értékét decibelben kell megadni. Fontos hangsúlyozni, hogy a jó DR leginkább a pixelmérettől függ, mivel ez a tényező befolyásolja leginkább az adott képpont

⁶ NATO Network Enabled Capabilities (NNEC).

⁷ *Quantum efficiency.*

⁸ *Dynamic range.*

⁹ *Signal-to-noise ratio.*

által felvett fényértéket [16]. A dinamikataromány kapcsán érdemes még azt is megemlíteni, hogy bizonyos kamerakonfigurációk lehetővé teszik az elektromágneses spektrum szabad szemmel nem látható, infravörösnek nevezett hullámhossztartományának megjelenítését is, ezzel elősegítve a gyenge és rossz fényviszonyok közötti biztonságos feladat-végrehajtást.

A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy egy szenzor által előállított információ minden esetben tartalmaz olyan mérési eredményeket is, amelyek nem korrelálnak a vizsgált fizikai, kémiai vagy biológiai állapotváltozással. Az információnak ezt a nem kívánt elemét nevezzük zajnak, és így egy optikai szenzor esetében a zaj rontja a képminőséget. Ebből az következik, hogy a jó képminőség indikátora a szenzor magas SNR-értéke, amelyet – a DR-hez hasonló módon – decibelben kell meghatározni [17].

1. táblázat
Gyakran előforduló szenzorok főbb tipikus paraméterei [a szerző]

	Digitális kamera (APS-C, Advanced photo system type-C)	Biztonsági kamera	Okostelefon (2021)
Tipikus szenzor-alapterület	366 mm ²	40 mm ²	24 mm ²
Tipikus szenzorfelbontás	24 megapixel	2 megapixel	12 megapixel
Számított pixelméret	3,92 μm	4,75 μm	1,92 μm
Kerekített tipikus QE	40%	50%	30%
Kerekített tipikus DR	60 dB	90 dB	40 dB
Kerekített tipikus SNR	40 dB	50 dB	30 dB

A könnyebb értelmezhetőség céljából – online elérhető adatbázisok, specifikációk és tanulmányok felhasználásával – összeállítottam a gyakran előforduló szenzorok főbb tipikus paramétereit tartalmazó 1. táblázatot [18], [19], [20]. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy rTWR optikai rendszerben alkalmazandó szenzor céljára elsősorban a biztonsági kamerák tervezésekor figyelembe vett konstrukciós elveket kell követni, így viszonylag kis alapterületű, alacsony felbontású, ennél fogva nagy pixelméretű szenzorra van szükség, amely minden más vizsgált paraméter (QE, DR, SNR) vonatkozásában hatékony képkalkoló eszköz.

Ezen túlmenően figyelembe kell venni, hogy az optikai szenzornak otthont adó kamerát milyen látószöggel, gyújtótávolsággal, rekeszértékkel és mélységélességgel rendelkező objektívvel szerelték fel.

2.3. Adatfeldolgozás

Az optikai szenzor által előállított nyers mozgókép-információk mérete szuboptimális, így azok konverziójára van szükség, hogy a videóadatfolyam-átvitel céljából rendelkezésre álló sávszélességet megfelelő módon használják ki [21]. Ezzel összefüggésben fontos hangsúlyozni, hogy a hagyományos légi forgalmi adatok (például hang, légi helyzetkép stb.) repülőtéren belüli továbbítása bár megoldott, de ezek volumene sokkal kisebb sávszélességet követel meg a rendelkezésre álló hálózattól, mint az optikai szenzor által előállított képinformációk, így az rTWR katonai technológia alkalmazásba vétele külön e célra dedikált és titkosított adatkommunikációt alkalmazó hálózat fejlesztését követeli meg.

2.3.1. Kódolás, dekódolás

A kódolás során a feladat-végrehajtás (légi forgalmi irányítás) szempontjából irreleváns adatokat eltávolítják, így a fájl méretet tömörítik, miközben egyéb hasznos információkkal és eljárásokkal (például vizuális kísérés, PTZ¹⁰-követés, címkék elhelyezése, biztonsági és védelmi funkciókat támogató metaadatok beágyazása, képjavító algoritmusok lefuttatása stb.) fokozható a műveleti hatékonyság. A dekódolás alatt hasonlóan komoly számításgényes folyamatot kell értenünk, amely során az adatfolyam vizuális prezentációjának érdekében kitömörítik azokat. Az előzőekben felsorolt hasznos információkkal és eljárásokkal való műveletihatékonyság-fokozás ebben a fázisban is végrehajtható.

Az adatfeldolgozó egységek hatásfokát – a kialakítástól és az adott technológiai eljárástól függően – a központi feldolgozóegység (CPU¹¹) és/vagy a grafikus feldolgozóegység (GPU¹²) számítási teljesítménye határozza meg, de további fontos tényezőként kell számolni a rendelkezésre álló memória és háttértár méretével, valamint azok architektúráján belüli írás-olvasás sebességével [22].

2.3.2. Adatkapcsolat, szinkronizáció

Az optikai szenzor segítségével előállított mozgóképek, valamint a kapcsolódó státuszjelek vizuális prezentáció helyszínére (rTWR pozíció) való továbbításáról valamilyen adatkapcsolat útján kell gondoskodni. A felhasználás jellegétől függően ez az adatkapcsolat lehet vezetékes és/vagy vezeték nélküli, azonban a videó-adatfolyam meg kell hogy feleljen a légi közlekedési iparágra általánosan jellemző nagy megbízhatóságú, biztonságkritikus – és ennél fogva redundanciára törekvő – elvárásainak [23].

A rTWR optikai rendszer adatkapcsolati hálózatával összefüggésben további fontos elvárás, hogy a szigorúan valós idejű adatfolyam megfeleljen a CIA¹³ hármas alapelvének, amelyről már a tervezés folyamán (*secure-by-design*) gondoskodni kell [24].

Ezen elvárások vonatkozásában döntő tényező, hogy mekkora sávszélesség áll az rTWR optikai rendszer rendelkezésére, de az adatkapcsolat további fontos jellemzői között kell számon tartani a mozgókép irányító általi feldolgozását alapvetően befolyásoló késleltetést (*latency*), remegést (*jitter*), valamint csomagvesztést (*packet drop*) is.

A valós idejű mozgókép-megjelenítés hitelesítése érdekében gondoskodni kell azokról a mechanizmusokról, amelyek az rTWR optikai rendszer egyes komponensei által előállított adatcsomagokat pontos időbélyeggel látják el, így biztosítani kell a rendszer egy fő időforráshoz való szinkronizációját.

¹⁰ Pan-Tilt-Zoom.

¹¹ Central Processing Unit.

¹² Graphic Processing Unit.

¹³ Confidentiality – bizalmasság, integrity – sértetlenség, availability – elérhetőség.

2.4. Vizuális prezentáció, vezérlés

Vizuális prezentáció alatt az optikai szenzor által szolgáltatott mozgóképek folyadékkristályos (érintő)kijelzőkön vagy projektorokon való megjelenítését kell érteni. Ezekre az eszközökre szintén vonatkoznak a légi közlekedési iparágra általánosan jellemző nagy megbízhatóságot követelő elvárások [23]. Ezen túlmenően viszont számos olyan általános szempontot is figyelembe kell venni, amelyek technikai szinten befolyásolják az operátor vizuális percepcióját [25].

Egy modern rTWR-pozíció a konvencionális irányítói munkahelyekkel szemben információbőséget kínál, amelyek egyidejű komplex megjelenítése könnyen elterelheti az irányító figyelmét a releváns eseményekről. Emiatt kritikus fontosságú az átgondolt ember-gép interfész (HMI¹⁴) tervezése, amely során az általános kognitív folyamatokat figyelembe vevő egyszerűsítésre kell törekedni, miközben kihasználjuk a helyzetértékelő képesség (SA¹⁵) fokozására alkalmas információk beágyazásának lehetőségét.



3. ábra

Példa az egy repülőtérrel kiszolgáló rTWR pozícióra [26]

A HMI tervezése során szintén fontos, hogy milyen vezérlőfunkciókkal és automatizmusokkal látják el az adott rTWR-pozíciót kiszolgáló optikai rendszert, amelyek közül az alábbiakat tekinthetjük a legáltalánosabbaknak:

- a PTZ-követés;
- a vizuális (cél)kísérés;
- a címkézés;
- a maszkolás és
- a riasztás.

¹⁴ Human-Machine Interface.

¹⁵ Situational Awareness.

A PTZ-követés alapvetően egy vezérlőfunkció, amely lényegében a fizikai távcső használatát hivatott digitalizálni, azaz lehetővé teszi a kezelő számára egy adott hely vagy objektum közeli, jobb felbontású megtekintését. A vizuális (cél)kísérés egy háttérben futó képfeldolgozó algoritmus által kiválasztott vagy az operátor által relevánsnak ítélt és kijelölt objektumhoz tartozó pixelcsoportra hívja fel a figyelmet. A (cél)kíséréshez hasonlóan a címkézés során is egy pixelcsoport figyelemmel kísérésének vizualizációjáról van szó, de ez esetben a rendszer egy rendelkezésre álló adatbázisból (például repülésiterv-adatok) – automatikus vagy az irányító általi direkt hozzárendelés útján – releváns információkat társít és jelenít meg az adott célponttal összefüggésben. További gyakori funkció még a maszkolás, amelynek segítségével olyan területeket fedhet el a felhasználó, amelyek egyébként zavarnák a feladat-végrehajtásban. Mindezekon túlmenően alapvető elvárás az rTWR optikai rendszerrel szemben, hogy vizuális úton és/vagy hallható módon riassza a felhasználót, amennyiben kritikus üzemzavar lép fel, vagy repülésbiztonsági kockázatot azonosítanak.

3. Minimális teljesítménystandardok keretrendszere

A rTWR optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszerének összeállítása során az alábbi technikai és légi forgalmi szempontból releváns tényezőkkel kell kalkulálni:

- jellemző helyi forgalom mennyisége és összetétele;
- helyi és a kapcsolódó szektorok légi forgalmi szolgáltatásának jellege;
- repülőtér komplexitása, elrendezése és fizikai kiterjedése;
- repülőtérrendben publikált légi forgalmi eljárások és előírások;
- alkalmazott forgalmi kör paraméterei;
- optikai szenzorok elhelyezkedése;
- rTWR optikai rendszer adatkapcsolatának jellege.

Ezen túlmenően külön ki kell emelnem, hogy a telepítés helyére jellemző környezeti faktorok (vadvilág, csapadék, szélsőséges időjárási körülmények) hátrányosan befolyásolhatják a rendszer működését, emiatt már a tervezés során gondoskodni kell azokról az óvintézkedésekről, amelyek garantálják a lokális alkalmazhatóságot.

Az egyéb, nem a telepítés helyére jellemző, de a rendszert befolyásoló környezeti faktorokat a 2. táblázatban közölt referenciaparaméterek szerint határoztam meg:

2. táblázat
A rTWR optikai rendszer referenciaparaméterei [a szerző]

Kondíció	Érték
Megvilágítás	10 000 lx vagy több
Látástávolság	15 000 m vagy több
Égbolt színhőmérséklete	~ 5 000 K

A közölt referenciaparamétereket a legkevesbé kihívást jelentő légköri feltételek alapján állítottam össze.

3.1. Optikai szenzorra vonatkozó követelményrendszer kerete

Az optikai szenzorra vonatkozó követelményrendszer keretének felállítása során meg kell határozni azt a Johnson-kritériumra építkező észlelési, felismerési és azonosítási (DRI¹⁶) tartományt, amely visszatükrözi a légi forgalmi szolgáltatás biztosításához minimálisan szükséges repülőtér-specifikus elvárásokat.

Ennél a fejezetnél egy rövid kitérő keretében ismertetnem kell a Johnson-kritériumot, mivel – vélhetően történelmi gyökereinkre visszavezethető okokból – a hazai szakirodalomban ez a fogalom nemigen kapott figyelmet. A Johnson-kritériumot eredetileg – az Amerikai Egyesült Államok Szárazföldi Haderejének éjjelató eszközökkel összefüggő kutatásának keretében – célmegkülönböztetés valószínűségének előrejelzésére szolgáló módszerként fogalmazták meg az 1950-es években [27]. Napjainkban e tézis térbeli alkalmazásának keretében a képmegjelenítő eszköz által prezentált objektumok általános DRI-értékét az alábbiak szerint adják meg [28]:

- észlelés: 2 pixel;
- felismerés: 4 pixel;
- azonosítás: 14 pixel.

A fenti általánosítást ökölszabályként ugyan elfogadhatjuk, de közvetlenül nem vonatkoztathatjuk az rTWR optikai rendszerre, mivel figyelmen kívül hagyja a 3. pontban megadott technikai és légi forgalmi szempontból releváns tényezőket. A rendszer DRI-értékeinek meghatározása céljából közlöm az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség vonatkozó irányelvei [9] [10] alapján összeállított, egyben a fenti megfontolásokat visszatükröző alábbi példatáblázatot. Ki kell emelnem, hogy a 3. táblázat csak irányadó célt szolgál, a sorok és oszlopok a konkrét igények megfogalmazásának függvényében változhatnak. Ennélfogva egy adatokkal feltöltött rTWR optikai szenzor DRI-táblázat az egyes célpontokra vonatkoztatott azon értékeket adja meg, amelyek teljesülése esetén a légi forgalmi irányító képes az észlelésre (D), a felismerésre (R) és az azonosításra (I).

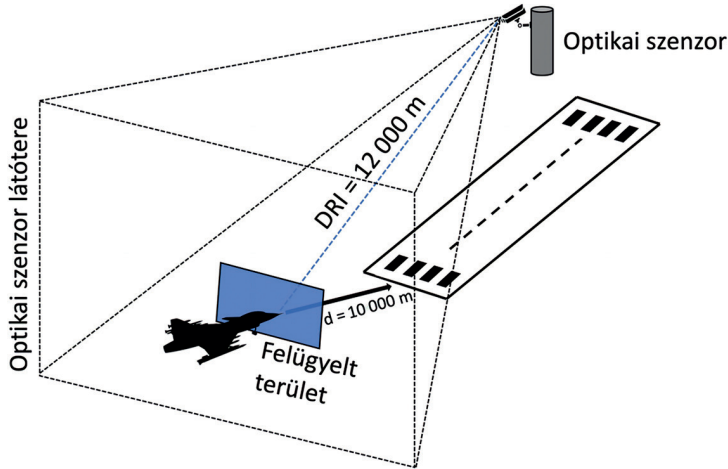
3. táblázat
Az rTWR optikai szenzor DRI-példatáblázat [a szerző]

Felügyelt terület	Cél	Cél 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	Gépkocsi	2,5 × 1,5 × 4,0						
Gurulóút	Személy	1,7 × 0,5 × 0,5						

Példaként számoljunk azzal, hogy a futópályaküszöbtől 10 km-re ($d = 10\,000$ m) levő közepes légi jármű azonosítása (I) a rendszerrel szemben megfogalmazott elvárás, amely távolsághoz hozzáadódik az rTWR optikai szenzor repülőtéren belüli lokációja is. Ebben a konkrét esetben

¹⁶ Detection, Recognition, Identification.

a 4. ábrával szemléltetett módon a felügyelt terület a végső megközelítési szakaszban található, célpontja pedig egy közepes méretű légi jármű.



4. ábra
DRI-példakalkuláció szemléltetése [a szerző]

A folyamat egymásra épül, ami azt jelenti, hogy az azonosítást (I) megelőzi a felismerés (R), a felismerést megelőzi az észlelés (D) [29], így a szemléltetés céljából alkalmazott példa esetében az rTWR optikai szenzor DRI = 12 000 m értékével írható le a célobjektum (közepes méretű légi jármű) végső megközelítési szakaszban való azonosíthatóságával szemben megfogalmazott követelmény.

3.2. Adatkapcsolatra vonatkozó követelményrendszer kerete

A légi járművek biztonságos, rendszeres, gyors és hatékony áramlásának biztosítását csak olyan rTWR optikai rendszer tudja ellátni, amely alapvetően e cél kiszolgálására elkülönített, redundáns hálózaton és eszközökön keresztül bonyolítja le az adatcserét. Míg a redundancia követelménye a légi forgalmi szolgáltatásokra vonatkozó általános elvárásokkal magyarázható [23], addig a dedikált nagy sávszélességet kínáló hálózat és a komoly számítási teljesítménnyel rendelkező eszközök kritériuma a minőségi képinformációk valós idejű feldolgozásával és prezentálásával támasztható alá [30].

A 4. táblázat tartalmazza egy rTWR-példakonfiguráció kapcsán jelentkező és a 3.2. pont első bekezdésében meghatározott követelményeket visszatükröző tipikus sávszélességi, valamint kívánt késleltetési értékeket. Ennek alapján könnyen kiszámítható, hogy a példakonfiguráció – redundanciával növelt – sávszélességi igénye közel 150 Mbps, azonban fontos hangsúlyozni, hogy ez az érték csak az rTWR optikai rendszerre vonatkozik és egyéb adatcsomagok áramlását (például hang) nem foglalja magában.

4. táblázat

Az rTWR-példakonfigurációra vonatkozatható tipikus késleltetési és sávszélességi értékek [26]

	Késleltetés (ms) OSz: Optikai Szenzor → WP: Working Position	Késleltetés (ms) WP: Working Position → OSz: Optikai Szenzor	Sávszéles- ség (Mbps)
#1 kamerakonfiguráció (panoráma) (14 HD-kamera)	< 100	< 10	50 Mbps
#2 kamerakonfiguráció (panoráma) (14 kamera, IR-funkcióval, nem HD)	< 100	< 10	15–20 Mbps
Dedikált PTZ-kamera	< 100	< 10	6 Mbps
Vezérlés és automatikus adatcsomagok	< 100	< 10	1 Mbps

3.3. Vizuális prezentációra vonatkozó követelményrendszer kerete

A vizuális megjelenítésre vonatkozó követelményrendszernek korrelálnia kell a katonai légi forgalmi irányítók szolgálata ellátásának rendjével [7], [11], [12], de ez – a technológia jelenlegi érettségi szintjének figyelembevételével – nem azt jelenti, hogy az ember kifinomult vizuális érzékelési teljesítményével megegyező, vagy annál jobb megjelenítés a cél. Ettől függetlenül, ahogy arra fentebb már utaltam, bizonyos augmentációk (PTZ-követés, vizuális kísérés, infravörös kamerák beépítése) már most is olyan előnyöket kínálnak, amelyek a konvencionális alkalmazásnál jobb helyzetértékelő képességgel ruházzák fel az operátorokat.

A vizuális megjelenítés célját szolgáló eszközre vonatkozó követelményrendszer felállítása során az alábbi paraméterek nyújtanak iránymutatást:

- darabszám, elrendezés;
- felbontás, méret;
- képfressítési ráta;
- betekintési szög;
- kontrasztarány;
- megbízhatóság (MTBCF¹⁷);
- színhűség és
- csatlakozási lehetőségek.

A fenti iránymutatásban megadott paramétereket a felhasználás konkrét lokációja – ide értve a telepíthető rendszerekre vonatkozó rugalmasan kezelendő elvárásokat – és a felhasználó igényeinek függvényében kell változtatni és priorizálni. A paraméterek egyedi sorrendezésének és változtatásának támogatása céljából összeállítottam az általános légi forgalmi irányítói tevékenységek konvencionális és rTWR-környezetben való összehasonlítását tartalmazó 5. táblázatot.

Az 5. táblázattal összefüggésben fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy jelen mű nem foglal állást sem a konvencionális, sem az rTWR irányítói környezet mellett. Ettől függetlenül a korábban nevezett paraméterek egyedi priorizálása és differenciálása támogatásának célja mellett, az 5. táblázat – szakmai megítélesem szerint – megfelelő alapot képezhet az rTWR-technológia későbbi, katonai környezetben való műveleti alkalmazhatósági vizsgálatának is.

¹⁷ Mean Time Between Critical Failures.

5. táblázat
Általános irányítói tevékenységek összehasonlítása [a szerző]

Tevékenység megnevezése	Konvencionális környezet	rTWR-környezet
Felelősségi körzet megfigyelése	~135°-os egyidejű megfigyelés, szabad szemmel	akár 360°-os egyidejű megfigyelés, vizuális prezentációs eszköz támogatásával
Felelősségi körzet éjszakai megfigyelése	~135°-os egyidejű megfigyelés, szabad szemmel	akár 360°-os egyidejű megfigyelés, infravörös támogatás opciójával, vizuális prezentációs eszköz támogatásával
Nagyítás	távcső segítségével	PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Statikus/mozgó objektum azonosítása	szabad szemmel, opcionálisan távcső segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Légi járművek elkülönítése	alapvetően szabad szemmel, opcionálisan távcső és radarkép segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Légi forgalomra veszélyt jelentő rendellenességek észlelése	alapvetően szabad szemmel, opcionálisan távcső segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Elsötétítés	fizikai elsötétítés fényvédő roló segítségével	a munkaterület elsötétítésére nincs szükség, a kamerakép automatikusan igazodik a környezeti fényviszonyokhoz

(Megjegyzés: 135° az emberi szem látótere)

4. Összefoglalás

A légi közlekedési iparágat jellemző – és alapvetően a repülésbiztonságot szavatoló – bonyolult jogszabályi háttér alapvetően lassítja azokat a diszruptív folyamatokat, amelyek az információs technológiai iparágat a 21. század húzóágazatává emelték fel. Ez a jelenség tetten érhető a helyszíntől független repülőtéri légi forgalmi és repüléstájékoztatói szolgáltatásokhoz kapcsolódó fejlesztések során is, hiszen az ez irányú első lépések már a 2000-es évek elején megtörténtek, de a valódi áttörésnek számító kezdeti gyakorlati alkalmazásra további egy évtizedet kellett várni, a NATO figyelmét pedig csak 2015-ben sikerült felkelteni.

Emiatt nem túlzás azt állítani, hogy az rTWR-technológia érettsége csak napjainkban jutott el arra a szintre, hogy világszerte komolyan vegyék az alkalmazásában rejlő potenciált. Jelen mű – a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programban felvázolt célok mentén – ennek a potenciálnak a kiaknázását célozza meg azáltal, hogy az elérhető kutatási eredmények és személyes szakmai tapasztalatok felhasználásával keretet ad a rTWR optikai rendszertől elvárt teljesítményre vonatkozó minimális katonai alkalmazási követelményeknek. Azonban az ismertetett keretrendszer önmagában csak kiindulópont lehet egy rTWR optikai rendszer tervezésének folyamatában, egészen csak az interoperabilitási elvárások vázának definiálása, a verifikációs eljárások körvonalazása és a kapcsolódó kibevédelmi elemzések elkészítése után tekinthető, amelyeket további publikációk formájában tervezek bemutatni az érdeklődő szakmai közönségnek.

Az összefoglalás keretében nyomatékosítanom kell, hogy egy katonai elvárásoknak megfelelő rTWR optikai rendszer alapja egy erre a célra elkülönített, nagy sávszélességet kínáló és potenciálisan a NATO hálózatalapú képességrendszerébe is integrálható titkosított hálózat. Egy ilyen jellegű adatkapcsolat képes biztosítani azt, hogy az optikai szenzor által

előállított mozgóképek valós idejű (késleltetés < 100 ms) megjelenítése megfeleljen a békeidejű és békétől eltérő légi forgalmi műveletek alapvető igényeinek. Az adott repülőtérré – vagy telepítési környezetre – jellemző műveleti igények feltérképezése érdekében elkészítettem a 3. és 5. táblázatot, amelyek pontos légi forgalmi szakmai interpretációja csak abban az esetben történhet meg, ha az alkalmazó nem a konvencionális eljárásokat kívánja teljes egészében az rTWR-technológia segítségével digitalizálni, hanem az úgynevezett dobozon kívüli, kritikus gondolkodással vizsgálja meg a technológiában rejlő lehetőségeket, és ennek alapján törekszik a műveleti hatékonyság fokozására.

Felhasznált irodalom

- [1] Vas T., *A Magyar Honvédség mobil légiforgalom szervezési komponens kialakításának és alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*. Doktori értekezés, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2019. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12878/vas_timea_doktori_ertekezes_2019.pdf?sequence=11
- [2] W. D. Givhan, *The Time Value of Military Force in Modern Warfare: The Airpower Advantage*. Alabama, Air University Press, Maxwell Air Force Base, 1996. Online: <https://doi.org/10.21236/ADA326347>
- [3] Palik M., szerk., *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018.
- [4] Setét A. K., „A távoli toronyirányítás (REMOTE TOWER) koncepciója, katonai felhasználási lehetőségei és repülésbiztonsági szempontból való vizsgálata”, Szolnok, NKE ITDK, 2018. Online: www.repulestudomany.hu/tdk/2017_Setet_Alexandra_Krisztina_TDK.pdf
- [5] S. D. Van Beek, Remote Towers: A Better Future for America's Small Airports. Reason Foundation Policy Brief No. 143. 2017. július. Online: https://reason.org/wp-content/uploads/2017/07/air_traffic_control_remote_towers-1.pdf
- [6] Dudás D., Somosi V., Rohács D., „A Remote Tower technológia polgári és katonai alkalmazási lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 1. sz. pp. 205–217. 2017.
- [7] A légi forgalmi szolgálatok ellátásának és eljárásainak szabályairól szóló 57/2016. (XII. 22.) NFM rendelet. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600057.nfm>
- [8] A légi forgalmi szolgáltatást/léginavigációs szolgálatokat és más légi forgalmi szolgáltatási hálózati funkciókat és azok felügyeletét ellátó szolgáltatókra vonatkozó közös követelmények meghatározásáról szóló 373/2017/EU (2017. március 1.) végrehajtási rendelet. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0373>
- [9] Guidance Material on the Implementation of the Remote Tower Concept for Single Mode of Operation. European Aviation Safety Agency, 2015. július 3. Online: www.easa.europa.eu/downloads/18782/en
- [10] Technical and Operational Requirements for Remote Tower Operations. European Aviation Safety Agency, 2017. Online: www.easa.europa.eu/downloads/44661/en
- [11] Vas, T., „Hadműveleti repülőterek általános és speciális forgalmának irányításához szükséges képességek I.,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 1. sz. pp. 213–227. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4282/3502>
- [12] Az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól szóló 3/2006. (II. 2.) HM rendelet. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600003.hm>
- [13] Haig Zs., *Információs műveletek a kibertérben*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018.

- [14] C. Ünsalan, H. D. Gürhan, M. E. Yücel, „Introduction to Digital Image Processing,” in *Embedded System Design with ARM Cortex-M Microcontrollers*. Cham, Springer International Publishing, 2022. pp. 507–554. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88439-0_14
- [15] D. Wu et al., In Situ High Resolution Real-Time Quantum Efficiency Imaging for Photocathodes. *Applied Physics*, 2017. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.08148>
- [16] A. Belenky, Wide Dynamic Range Imaging. *The Neuromorphic Engineer*, 2004. Online: <https://doi.org/10.2417/1200402.0004> ;
- [17] D. Wueller, A. Matsui, N. Katoh, „Visual Noise Revision for ISO 15739,” *Electronic Imaging*, Vol. 31. No. 10. pp. 315–325. Online: <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2019.10.IQSP-315>
- [18] DxOMark Derived Sensor Characteristics. *Photons to Photos*, 2022. március 27. Online: www.photonstophotos.net/Charts/Sensor_Characteristics.htm
- [19] Digital Industrial Cameras – Sensor Performance Review. Baumer, 2022. március 25. Online: www.baumer.com/medias/___secure___/Baumer_Sensor-Performance-Review_EN_20190426_BR.pdf?mediaPK=8940747030558
- [20] S. R. Teli, S. Zvanovec, Z. Ghassemlooy, „The First Tests of Smartphone Camera Exposure Effect on Optical Camera Communication Links,” in 2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL), Graz, Austria, 2019. július pp. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1109/ConTEL.2019.8848559>
- [21] S. Janus, „Video Compression”, in *Handbook of Visual Display Technology*, J. Chen, W. Cranton, és M. Fihn, szerk. Cham: Springer International Publishing, 2016. pp. 425–441. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-14346-0_24
- [22] R. Safin, E. Garipova, R. Lavrenov, H. Li, M. Svinin, E. Magid, „Hardware and Software Video Encoding Comparison,” in 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE). 2020. Chiang Mai, Thailand, pp. 924–929. Online: <https://doi.org/10.23919/SICE48898.2020.9240439>
- [23] Z. Yongli, Y. Zhengning, Z. Liang, „Analysis of Remote Tower System,” in 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT, Weihai, China). 2020. pp. 128–133. Online: <https://doi.org/10.1109/ICCASIT50869.2020.9368521>
- [24] Kovács L., „Offenzív kiberműveletek 1.: Az offenzív kiberműveletek természete,” *Hadmérnök*, 16. évf. 2. sz. pp. 187–204. 2021. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.2.13>
- [25] J. Jakobi, M. Hagl, Effects of Lower Frame Rates in a Remote Tower Environment. Braunschweig, The Tenth International Conference on Advances in Multimedia (MMEDIA 2018), IARIA, 2018. Online: <https://elib.dlr.de/120166/>
- [26] Whitepaper: Introduction to Remote Virtual Towers. Frequentis, 2016. augusztus. Online: www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-02/RVT_whitepaper.pdf
- [27] J. Johnson, Analysis of Image Forming Systems, Part I and Part II. SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1985.
- [28] White Paper: Thermal Detection, Recognition and Identification. Ascendent Technology Group, (é. n.). Online: www.ascendentgroup.com/uploads/files/Johnson_Criteria_Thermal_DRI_Performance_and_Range_Explained.pdf
- [29] F. J. van Schaik, J. J. M. Roessingh, G. Lindqvist, K. Fält, „Detection and Recognition for Remote Tower Operations,” in *Virtual and Remote Control Tower*. N. Fürstenau,

szerk., Cham, Springer International Publishing, 2016. pp. 53–65. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28719-5_3

[30] L. Peterson, B. Davie, *Computer Networks – A Systems Approach*. 6. kiad. Elsevier, 2014. Online: <https://titania.eng.monash.edu/netperf/docs/computer-networks-peterson-davie-v6.0.pdf>

Defining Minimum Performance Standards for Optical System Required for the Provision of Location Independent Military Aerodrome Control Service

In general, operational task execution based on adequate video data flow is one of the most important requirements for the provision of location independent aerodrome control services. In order to apply this technology, beyond civilian use in this context, a specific framework needs to be defined to enable the use of the rTWR potential for military and defence purposes.

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

Horváth Gábor (MSc) 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
---	---