

## Irányítói munkaterhelés alapú légiforgalmi szektorkapacitás számítás támogatása szimuláció segítségével

Számel Bence\* Baranyi Edit\*\*  
Szabó Géza\*\*\*

\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest (e-mail: szamel.bence@mail.bme.hu).

\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest (e-mail: baranyi.edit@mail.bme.hu)

\*\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest (e-mail: szabo.geza@mail.bme.hu)

Abstract: A légiforgalmi irányítói munkaterhelésnek a forgalom és a légtér állapota alapján történő automatizált becslése hasznos lehet a szektorok nyitásával és zárásával kapcsolatos döntések meghozásakor. Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson, szükség van különböző forgalmi szituációk munkaterhelés general hatásának ismeretére, ami beszerezhető szakemberek véleményének megismerésével. A forgalom és az irányítás szimulációja segítséget nyújthat ennek végrehajtása során, megfelelően kidolgozott irányítói kognitív model használata esetén pedig akár alternatív megoldást is jelenthet.

### 1. BEVEZETÉS

A légiforgalmi irányítási (Air Traffic Control, ATC) rendszerekben a légi közlekedés biztonságának és hatékonyságának maximalizálása érdekében szektorizációt alkalmaznak, azaz a forgalmat szükség esetén elosztják több légiforgalmi irányító között földrajzi és/vagy magassági határok mentén. Ha egy irányító szektorában a légiforgalom nagysága (légijárművek száma) vagy komplexitása meghalad egy bizonyos értéket, akkor az irányító munkaterhelése túlzottan magasra válhat, míg ha a forgalom vagy a komplexitás túl alacsony, a munkaterhelés túlzottan alacsony lehet. Előbbi esetben megnő az irányítói hibák kockázata (Rodgers *et al.*, 1998), ami nem elfogadható a légi közlekedés biztonsága szempontjából, utóbbi esetben pedig egyfelől részben kihasználatlan marad az irányítási rendszer kapacitása, másfelől pedig megnő annak a valószínűsége, hogy az irányító figyelmét elvonják különféle viselkedést befolyásoló tényezők, ami által gyakrabban hibázik (Stagel & Hameluck, 1990).

A fenti megfontolások miatt fontos, hogy a szektorkonfigurációt (az alkalmazott szektorhatárokat) az üzemidő lehető legnagyobb részében úgy alakítsák ki, hogy az egyes irányítók munkaterhelési szintje az optimális közelében legyen. Az alkalmazott szektorkonfigurációt illető döntések automatizált támogatásának egyik lehetséges módja a forgalom és a légtér különböző számszerűsíthető jellemzőinek (komplexitási tényezőinek) értékei és a szektorokhoz rendelhető munkaterhelési szintek közötti összefüggés feltárása valamilyen matematikai modell felhasználásával, majd a szektorkonfiguráció becslése a komplexitási tényezők aktuális értékei alapján. Ennek megvalósítására (Gianazza & Guittet, 2006)-ban látható egy neurális háló használatán módszer, amelynek a magyar

légtérre történő alkalmazását (Számel *et al.*, 2015) foglalja össze.

Az említett módszerben központi szerepet játszik a különböző légiforgalmi szituációkhoz tartozó munkaterhelési szintek megállapítása szakemberek szubjektív véleménye alapján. Ezen folyamat támogatása érdekében hasznos lehet mesterségesen létrehozott, szimulált forgalmi szituációkat használni, a teljes folyamat kiváltása pedig szintén megvalósítható lehet a légiforgalmi irányítói viselkedés megfelelő szimulációjával. Az ennek megvalósítását célzó munkafolyamat bemutatása érdekében a 2. fejezetben röviden ismertetjük, milyen előnyei vannak a mesterséges szituációk használatának a szektorkapacitás becslési módszerekben és felsoroljuk egy ezek előállítását célzó eszköz fontosabb követelményeit. A 3. fejezetben bemutatjuk, milyen módon jelenik meg napjaink ATC rendszereiben a szimuláció, a 4. fejezetben pedig azt, hogy hogyan lehetséges különböző szimulációs módszereket felhasználni a 2. fejezetben felvázolt eszköz fejlesztése során.

### 2. MESTERSÉGES FORGALMI SZITUÁCIÓK SZEREPE A SEKTORKONFIGURÁCIÓ BECSLÉSÉBEN

Ahogy arra a bevezetésben is utaltunk, a szektorkonfiguráció becslésére használt módszer alkalmazása során a neurális háló tanításához szükség van arra, hogy valamilyen forrásból ismerjük néhány légiforgalmi szituációra vonatkozóan az irányítói munkaterhelés szintjét. A módszer magyar légtérre történő paraméterezése során ennek végrehajtása úgy történt, hogy aktív ATC supervisoroknak mutattunk archív radarkepeket néhány korábban megvalósult forgalmi szituációról, ők pedig elmondták, hány szektort és milyen konfigurációban alkalmaznának, ha az adott szituáció kialakulására számítanának. Mindezt egyszerűen és rövid idő alatt végre lehet hajtani, az archív radaradatok használata azonban

magában hordoz bizonyos hátrányokat. Ezek egyike, hogy a történeti forgalmi szituációk radarképei olyan állapotot mutatnak, amelyben az irányítás már feloldotta a lehetséges konfliktusok nagy részét, ami által a szituációk kevésbé komplexek, mint ahogyan arra 15-20 perccel a kialakulásuk előtt (amikor a supervisorok döntést kellett hoznia a szektorkonfigurációról) számítani lehetett. A másik hátrány, hogy az archív adatok nagyrésze olyan szituációkhoz tartozik, amelyek komplexitási tényezőinek értékei nem térnek el nagyban az irányítók és supervisorok által a munkaidő nagy részében tapasztalt értékektől. Emiatt az ezek felhasználásával tanított döntéstámogató eszköz csak a hétköznapinak mondható szituációkra tud megbízható eredményeket szolgáltatni, miközben a célja éppen az lenne, hogy a speciális – a supervisor részéről nehezebb döntést igénylő – szituációk kialakulása esetén nyújtson segítséget.

Az említett hátrányok kiküszöbölése érdekében tehát érdemes lenne történeti szituációk helyett mesterségesen megalkotott és/vagy tetszőlegesen manipulálható légiforgalmi szituációkat használni a munkaterhelési szintekre vonatkozó adatok gyűjtése során. A mesterséges szituációk létrehozásának két alapvető módja az archív radaradat-állományok manipulálása, valamint a forgalmat leíró adatok generálása determinisztikus módszerrel (a szituáció megalkotója által meghatározott pozícióval, sebességvektorral és magassággal rendelkező légitársaság generálása) vagy szimuláció segítségével (véletlenszerű jellemzőkkel rendelkező, valamilyen determinizmusok szerint haladó légitársaság generálása).

A módszerek valamelyikével létrehozott szituációkat természetesen meg is kell jeleníteni valamilyen, a megkérdézett szakember számára könnyen értelmezhető módon. Ennek érdekében a legcélszerűbb az irányítók és supervisorok által gyakran használt megjelenítési formához hasonló kétdimenziós, légitársaság szimbólumokat és az azokhoz tartozó tracket, valamint információk címkét tartalmazó megjelenítést használni. A szituációk előállítására a megjelenítés szempontjából a legelőnyösebb módszer a létező radaradat állományok manipulálása, mivel ezek megjeleníthetők az irányítók és supervisorok által is ismert eszközökkel és formában. A radaradat manipulálásával ugyanakkor körülményesebben lehet a hétköznapitól nagymértékben eltérő, fiktív szituációkat létrehozni.

Emellett arra is érdemes lehetőséget biztosítani, hogy a megjelenített forgalom jellemzőit egyszerű módon (pl. interaktív megjelenítési felület használatával) módosítani lehessen. Ez elősegíti a „mi lenne, ha” kezdetű kérdések megvitatását az adott szituációról kért szakemberrel, valamint egy-egy komplexitási tényező módosítását a többi (lehetőségek szerinti) változatlanul hagyásával. Egy mesterséges forgalmi szituációk kezelését lehetővé tevő eszköznek (mint amilyen a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés- és Járműirányítási Tanszékén fejlesztés alatt áll) tehát a felsorolt funkciók ellátására kell minimálisan alkalmasnak lennie.

A felvázolt feladat ellátása és ezen keresztül az ATC rendszer biztonságának javítása érdekében ugyanakkor hasznos, ha az eszköz szimulációs funkciókat is tartalmaz, amelyekről a következő két fejezetben lesz szó.

### 3. SZIMULÁCIÓ ALKALMAZÁSA A LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÁSBAN

Mint a biztonságkritikus rendszerekben általában, a légiforgalmi irányításban is gyakran alkalmaznak szimulációt a rendszer biztonságának fenntartását vagy fejlesztését szolgáló tevékenységek (pl. képzés, technikai vagy szervezeti fejlesztések, meglévő rendszerek hitelesítése) támogatására. Szimuláció alatt érthetjük az irányított rendszer (légi forgalom) szimulációját, az operátorok viselkedésének szimulációját vagy a műszaki berendezések viselkedésének (pl. meghibásodásának) szimulációját. A továbbiakban ezek közül elsősorban előbbi kettő megvalósítási lehetőségeivel és megjelenési módjaival foglalkozunk, mivel ezek kapcsolódnak szorosan a korábban felvázolt problémához.

A légiforgalom szimulációja általánosan elterjedt az irányítók képzése és az aktív irányítók számára szervezett gyakorlatok során. Ennek oka – amellett, hogy az irányító viselkedése így nincs hatással a valóságos rendszerre – az, hogy a már említett rendkívüli légiforgalmi szituációk gyakorlat céljából történő előidézésére csak szimuláció által van lehetőség.

A légiforgalom szimulációja azzal tehető valóságshűvé, hogy szerepet kap benne a légitársaságokat vezető humán operátorok, azaz a pilóták viselkedése is. Erre azért van szükség, mert a légi közlekedés biztonságát veszélyeztető tényezők között megtalálhatóak a pilóták hibái is, ezek hatásának kezelése pedig részben a légiforgalmi irányítás feladata. A pilótaviselkedés szimulációba történő bevonásának elterjedt módja az, hogy a gyakorlat során valós személy helyettesíti a pilótát és „szimulálja” annak lehetséges hibáit. Ennek fejlettebb (bár nem feltétlenül hatékonyabb) módja a pilótahibák bevonása a szimulációt végző szoftver implementációjába, amihez ismerni kell a hibák lehetséges módjait, azok lehetséges közvetlen hatásait és az elkövetésük valószínűségét. A légiforgalom szimulációjának az ATC rendszer biztonságának elemzése céljából történő alkalmazására (Vas és Fekete, 2013)-ban látható példa.

Ha a szimuláció célja nem a légiforgalmi irányítók kompetenciájának fejlesztése vagy felmérése, hanem a légiforgalmi irányítási rendszer esetleges biztonsági hiányosságainak feltárása, akkor a pilóták mellett az irányítók viselkedésének szimulációja is hasznos lehet. Ha az irányítók hibáival kapcsolatban is rendelkezésre állnak a pilótahibák esetében említett információk, akkor lehetséges például felmérni azt, hogy milyen, a biztonság szempontjából nem kívánatos állapotot idézhet elő a rendszerben egy vagy több egyidejű hiba, illetve milyen valószínűséggel kerülhet a rendszer ilyen állapotba.

Mind a pilóták, mind pedig az irányítók viselkedésének szimulációja a kognitív szimuláció tárgykörébe tartozik, aminek a megvalósítására a légiforgalmi irányítás és más biztonságkritikus rendszerek területén számos módszer

létezik. Ezek közül az olyan, korábban kidolgozott módszerek, mint a (Woods *et al.*, 1987)-ben látható CES (Cognitive Environment Simulation) vagy a (Cacciabue *et al.*, 1992)-ben bemutatott COSIMO (Cognitive Simulation Model) egy operátor viselkedését szimulálják, míg a későbbiek a csapatban dolgozó operátorok közti együttműködést is.

A TBNM (Team Behavior Network Model) és az IDAC (Information, Decision and Action in Crew Context) szimuláció atomerőmű operátorok viselkedését szimulálja szintén szimulációval előállított balesetek bekövetkezése esetén. A TBNM alapjául négy modell szolgál, amelyek az egyes operátorok által végzett tevékenységeket, a vizsgált szituációt kiváltó eseményt követő lehetséges eseményeket, az operátorok közti együttműködés minőségét és az ember-gép kapcsolatokat írják le. Ezek alapján elvégezhető a csapatban dolgozó operátorok kognitív folyamatainak szimulációja különböző szituációkra vonatkozóan, ami alapján megállapítható a csapat viselkedésének megbízhatósága a beállított körülmények mellett (Shu *et al.*, 2002). Az IDAC három együtt dolgozó operátor (egy döntéshozó, egy végrehajtó és egy tanácsadó) kognitív, érzelmi és fizikai viselkedését szimulálja a baleset során (Chang és Mosleh, 2007). A kognitív folyamatokon felül mindkét módszer figyelembe veszi (szintén szimuláció segítségével) a különböző viselkedést befolyásoló tényezők hatásait is az operátorok viselkedésére.

A MIDAS (Man-machine Integration Design and Analysis System) módszer (és annak repülőgép személyzetekre adaptált változata, az Air-MIDAS) célja támogatást nyújtani az operátorok munkaállomásainak optimális kialakításához (Pisanich és Corker, 1995). Ennek érdekében a szimuláció itt az operátor vizuális információfeldolgozási folyamatára terjed ki. Az Air-MIDAS továbbfejleszhető és integrálható baleseti kockázatelemzési módszerrel is (Blom *et al.*, 2005).

A PROCOS (Probabilistic Cognitive Simulator) szimulációs módszer légiforgalmi irányításra történő alkalmazása látható (Leva *et al.*, 2009)-ben. A szimulátor fő moduljai hasonlóak, mint a TBNM esetében, de itt nincs önálló modul a csapaton belüli együttműködés szimulációjára, mivel ezt a kontextust leíró tényezők közé sorolják és az operátor viselkedését modellező modulhoz rendelik.

Az operátor modul tartalmazza a különböző lehetséges cselekvésekhez vezető kognitív folyamatok, valamint a lehetséges hibatípusok és hibamódok közti összefüggés leírását. A modellezett kognitív folyamatot az észlelés, az értelmezés, a tervezés és a végrehajtás művelete alkotja, ezek kiváltó tényezői vagy megjelenési felületei pedig a más irányítókkal vagy pilótákkal, a műszaki eszközökkel vagy az előírásokkal folytatott „interakciók” lehetnek. A figyelembe vett hibatípusok az észlelésben, a memóriában, a döntésben és a reakcióban megjelenő hibák. Más szimulációs módszerekkel ellentétben a PROCOS esetében egy hiba megjelenése nem jelenti a szimuláció végét, hanem ilyen esetben az operátor modulnak a hibakezelés szimulációjáért felelős része lép működésbe, amelynek segítségével az ebben

megjelenő esetleges hibákat is fel lehet deríteni. A kognitív folyamat modelljében döntési blokkok jelképezik a többféle lehetséges kimenettel rendelkező döntéseket. A különböző kimenetekhez megfigyelések alapján rendelkezésre álló valószínűsések rendelkezhetők. A szimulátor másik két része a tevékenység modul, amely a végrehajtandó feladathoz tartozó résztevékenységeket modellezi és az ember-gép kapcsolati modul, amely a berendezések állapota és az irányító cselekedetek vagy hibák közti kapcsolatot írja le.

A szimuláció végrehajtásához a következő bemenő adatok szükségesek: a feladat végrehajtásához szükséges eszközök, a feladat lépései, a lehetséges hibamódok és a kontextust leíró információk (pl. forgalom és légtér állapota, időjárási körülmények, előírások minősége, irányító képzettsége stb.). A szimuláció ezek alapján információt szolgáltat arról, hogy mekkora valószínűséggel kerülhet a rendszer az előírások által nem megengedett állapotba és hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy ebből az állapotból sikerül visszatéríteni egy elfogadható állapotba. A szimuláció elsősorban arra használható, hogy a különböző kontextust leíró tényezőknek a hibák valószínűségére gyakorolt hatását vizsgálják, mivel a biztonság javítását célzó fejlesztések során a szimuláció bemeneti tényezői közül általában ezeket lehet a legkönnyebben módosítani.

#### 4. SZIMULÁCIÓ HASZNÁLATA A MUNKATERHELÉS FELMÉRÉSE SORÁN

A mesterséges légiforgalmi szituációk előállítására használt szoftver szimulációs funkciókkal történő felruházásának első szakaszában a légiforgalom szimulációjával foglalkozunk, amibe beleértjük a pilóták hibáinak szimulációját is. A forgalom szimulációja azért nyújthat támogatást a munkaterhelés szakértői véleményeken alapuló felmérése során, mert segítségével a megkérdezett szakemberek statikus radarképek helyett a valóságoshoz hasonló viselkedést mutató dinamikus forgalmi szituációkról mondhatnak véleményt.

A forgalom-szimuláció első (intelligenciát nem tartalmazó) szintje csak a légi járművek mozgásának szimulációját teszi lehetővé, ami történhet kizárólag a kezdőállapot (légi járművek kezdeti pozíciója, magassága és sebességvektora) vagy a kezdőállapot és programozható állapotváltozások alapján. A második szint interaktív szimulációt tesz lehetővé, amely során a légi járművek állapotát a felhasználó valós időben módosíthatja, azaz virtuális irányítói utasításokat adhat nekik. A forgalom-szimuláció harmadik szintje tartalmaz bizonyos előre beállítható valószínűségű és -jellegű pilótahibákat, amelyek hatására a szimulált légi járművek a kapott utasításokat hibásan, késve vagy egyáltalán nem hajtják végre. Ezáltal vizsgálhatóvá válik az is, hogy a különböző pilótahibák gyakorisága hogyan hat az irányítók munkaterhelésére.

Ha az eszköz már tartalmazza a forgalom és a pilóták viselkedésének szimulációját, akkor lehetségessé válik a funkciók bővítése egy vagy több légiforgalmi irányító tevékenységének szimulálásával. Ennek alapjául az előző

fejezetben ismertetettekhez hasonló kognitív szimulációs módszerek szolgálhatnak. A szimuláció alapját az ekkor már rendelkezésre álló szimulált forgalom adja, amelynek állapotát az irányítók megváltoztathatják megfelelő feltételek (előírások, eljárások) és valamilyen, az irányítók kognitív folyamatait leíró modell alapján. Ennek szimulált végrehajtása során megjelenhetnek hibák, amelyek valószínűségét be lehet állítani közvetlenül vagy közvetetten, az irányítók viselkedését befolyásoló tényezők értékeinek módosításával.

Az irányítás szimulációjának a forgalom szimulációjához hasonlóan többféle szintje képzelhető el. Az egyik szint esetében a forgalom egy részét a felhasználó „irányíthatja” a korábban felvázolt módon, azonban szimulált módon megjelenének benne más szektorok irányítóinak koordinációs kérései vagy hibái. A szimulációnak ezen szintje még mindig a vizsgált forgalmi szituáció által generált munkaterhelésről alkotott szubjektív vélemény előállítását segíti azáltal, hogy a korábbiaknál is valóságosabbá teszi a forgalom állapotaiban bekövetkező változásokat.

Az irányítás szimulációjának magasabb szintje esetében már nincs humán irányító a rendszerben, hanem a teljes forgalom irányítása szimuláció segítségével megy végbe. Ezen funkció használata esetén bővül a szoftver rendeltetése, mivel már nem csak arra lehet használni, hogy a mesterségesen előállított szituációk munkaterhelés generáló hatásáról szakemberek segítségével informálódjunk, hanem arra is, hogy – a szimulált irányítóra vonatkozó megfelelő paraméterek beállítását követően – automatikusan szolgáltatson információt az irányítói hibák jellegéről és bekövetkezésének valószínűségéről. Ez alapján szintén lehetséges következtetéseket levonni a szituáció által előidézett munkaterhelés szintjére vonatkozóan, de az elemzéshez már nincs szükség ATC szakemberek bevonására.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az irányítói munkaterhelés meghatározása különböző légiforgalmi szituációk fennállása esetén fontos az optimális szektorkonfiguráció becslése szempontjából. A munkaterhelési értékek megállapítása szempontjából hasznos lehet egy olyan szoftver fejlesztése, amellyel lehetségesé válik valóságos légiforgalmi szituációk manipulálása és mesterséges szituációk létrehozása, valamint ezek grafikus megjelenítése és szimulációja, ami magában foglalja a forgalom és az irányítás szimulációját is.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés- és Járműirányítási Tanszékén fejlesztés alatt áll egy olyan eszköz, amely a felsorolt funkciókat hivatott megvalósítani. Az eszköz jelenlegi implementációja képes a radaradatok manipulálására (azaz valós szituációk módosítására) és megjelenítésére, a szimulációs funkciók azonban egyelőre hiányoznak belőle. Ennek megfelelően az eszközt a jövőben tovább kell fejleszteni, hogy támogassa a

szimulációs funkciókat a 4. fejezetben összefoglalt követelmények teljesítése érdekében.

## HIVATKOZÁSOK

- Blom, H.A.P., Corker, K.M. és Stroeve, S.H. (2005). On The Integration Of Human Performance And Collision Risk Simulation Models Of Runway Operation. *6<sup>th</sup> USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*, Baltimore, MD, USA
- Cacciabue, P.C., Decortis, F., Drozdowicz, B., Masson, M. és Nordvik, J.P. (1992). COSIMO: a cognitive simulation model of human decision making and behaviour in accident management of complex plants. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, IEEE-SMC*, **22(5)**, 1058–1074.
- Chang, Y.H.J. és Mosleh, A.. (2007). Cognitive modelling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents: Part 1: Overview of the IDAC Model. *Reliability Engineering and System Safety*, **92(8)**, 997–1013.
- Gianazza, D. és Guittet, K. (2006). Evaluation of air traffic complexity metrics using neural networks and sector status. *Proceedings of the 2nd International Conference on Research in Air Transportation, ICRAT 2006*, Belgrade, Serbia and Montenegro
- Leva, M.C., De Ambroggi, M., Grippa, D., De Garis, R., Trucco, P. és Sräter, O. (2009). Quantitative analysis of ATM safety issues using retrospective accident data: The dynamic risk modelling project. *Safety Science*, **47**, 250–264.
- Pisanich, G.M. és Corker, K.M. (1995). A predictive model of flight crew performance in automated air traffic control and flight management operations, *Proceedings of the 8th international Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, OH: Ohio State University.
- Rodgers, M.D., Mogford, R.H. és Mogford, L.S. (1998). The relationship of sector characteristics to operational errors. *FAA Aviation Medicine Report*, **98/14**
- Shu, Y., Futura, K. és Kondo, S. (2002). Team performance modeling for HRA in dynamic situations. *Reliability Engineering and System Safety*, **78**, 111–121.
- Stager, P. és Hameluck, D. (1990). Ergonomics in air traffic control. *Ergonomics*, **33(4)**, 493–499.
- Számel B., Mudra I. és Szabó G. (2015). Applying Airspace Capacity Estimation Models to the Airspace of Hungary. *Periodica Polytechnica: Transportation Engineering*, **43(3)**, 120–128.
- Vas T. és Fekete Cs. (2013). UAV az ellenőrzött repülőtér forgalmában, avagy egy szimuláció tapasztalatai. *Repüléstudományi Közlemények*, **25(2)**, 371–383.
- Woods, D.D., Roth, E.M. és People, H.E. (1987). Cognitive Environment Simulation: an Artificial Intelligence System for Human Performance Assessment. Technical Report NUREG-CR-4862, US Regulatory Commission, Washington, DC, US.