

Légiforgalmi irányítás megvalósítása ember-gép feladatmegosztáson alapuló biztonsági architektúrával

Jáger Rebeka Anna*, Dr. Szabó Géza**

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
(e-mail: rjager@edu.bme.hu).

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
(e-mail: szabo.geza@kjk.bme.hu)

Absztrakt: Az automatizált, gépi irányítási megoldások fejlődése és egyre több biztonságkritikus üzemben való alkalmazása megkövetelte a funkcionális biztonsági megközelítések és módszerek létrejöttét. Így ma már a világon számos biztonságkritikus szektorban is automatizálás váltja ki a humán operátort / irányítót, tehermentesítve a humán folyamatrésztvevőket, garantálva az állandó teljesítmény- és biztonsági szintet. Ugyanakkor a légiforgalmi irányítás – talán éppen az irányítási funkcionális komplexitása miatt – a támogató eszközök egyre szélesebb körének ellenére humán alapú maradt. Az egyik jelentős nehézség a funkcionális biztonság megfelelő szintjének elérésében, amely az automatizált légiforgalmi irányítás fejlesztőit érinti, a gépi feladatvégrehajtás, a specifikáció teljességének garantálása.

Cikkünkben javaslatot teszünk egy irányítási architektúrára, amely ötvözi a gépi irányítás teljesítőképességét és általános biztonsági szintjét és a humán irányítók specifikálatlan szituációkban mutatott, tudás alapú problémamegoldását az általános funkcionális biztonság elérése érdekében. A megoldás taszk allokáción alapul, amely megvalósítása során nem csak az adott irányítói entitás (ember/gép) biztonságos feladatmegoldási terét vesszük figyelembe, de a humán irányító általános teljesítőképességét (munkaterhelés) és helyzet tudatosságának folyamatos fenntartási igényét is.

1. BEVEZETÉS

A számítógépek megjelenésével és fejlődésével számos iparágban elkezdődött a folyamatok automatizálása; a kezdeti megjelenítő, támogató rendszerektől, a sok esetben teljesen automata vagy a felügyeleti irányításokig. Ha egy biztonsági rendszer üzemeltetését emberi kezelő végzi, akkor a felmerülő veszélyek kezelésének megbízhatósága az emberi hiba valószínűségétől függ. Ezt számos tényező befolyásolhatja (pl. fáradtság, lelki állapot stb.), és megfelelő intézkedésekkel javítható (pl. kiválasztás, képzés stb.). Amikor ugyanezen rendszer irányítását gépi automatizmus végzi, akkor a felmerülő helyzetekre minden esetben csak azt a választ adhatja, amelyet a fejlesztése során specifikáltak, majd megvalósítottak. Ekkor a korábbi emberi kezelői felelősség áthelyeződik az emberi tervezőre, akinek feltételezhetően több idő és erőforrás áll rendelkezésére annak biztosítására, hogy az automatizmus az összes lehetséges helyzetben biztonságosan reagáljon.

Az automata rendszerek hibái két részből tevődnek össze: (i) Véletlenszerű hibák (hardverhibák) – fellépésük a folyamat végrehajtásától független, valamint (ii) Szisztematikus hibák (fejlesztési folyamathibák, szoftver hibák) – fellépésük adott körülmények között, adott feltételek teljesülése esetén mindig bekövetkezik.

A számítógépek fejlődésével egyre komplexebb rendszerek létesültek, a biztonságot egyre kevésbé lehetett a fejlesztés utáni ellenőrző tevékenységekkel (pl. teszteléssel) garantálni, szükségessé vált olyan egységes keretrendszerek definiálása, amelyek a rendszerek életciklusát teljes egészében kontrollálják, ezáltal igazolhatóvá válik a funkcionális biztonság. Az ilyen szabványok közül kiemelhető az IEC-EN-MSZ 61508, amely bármely iparágra vonatkoztathatóan definiálja az elektronikus és szoftver alapú rendszerek életciklusaiban kötelező és ajánlott tevékenységi elemeket (IEC 61508:2010).

Egyes iparágakban, például a nukleáris iparban vagy a vasúti közlekedésben működnek magas funkcionális biztonságú irányító rendszerek. Az ezen rendszerek funkcionális biztonságának elérését szabályozó szabványok közül néhány kiemelendő; a vasúti CENELEC EN 5012X (és IEC megfelelői), valamint az autópárhalmi alkalmazott ISO 26262 szabvány, és a rá épülő, közvetlenül a funkciók biztonságával foglalkozó (SOTIF - Safety of the intended functionality) ISO/PAS 21448 szabvány. Ez utóbbi az olyan tervezett funkciókra vonatkozik, amelyeknél a megfelelő helyzetfelismerés kritikus a biztonság szempontjából és ezt összetett érzékelők és feldolgozó algoritmusok biztosítják. A lehetséges helyzeteket 4 területre rendezi; ismertség és biztonság szerint, így lehet ismert biztonságos, ismert nem

biztonságos, ismeretlen nem biztonságos és ismeretlen biztonságos szcenárió. A végzett tevékenységek célja a helyzetek kiértékelése és az ismert biztonságos terület arányának maximalizálása. (ISO/PAS 21448:2022) A légiközlekedés ide vonatkozó szabványai közül kiemelendő az ED-109A, amely ATM/CNS rendszerek szoftvereinek integritását mutatja meg, azaz a tervezett funkció végrehajtását elfogadható biztonsági szint mellett (EUROCAE ED-109A, 2012). Hasonló szabvány az ED-153, amely kifejezetten ANS szoftverekre vonatkozik; tartalmaz megfeleltethetőséget az ED-109A és az IEC61508 felé (EUROCAE ED-153, 2009).

Az automatizálási törekvések a légi közlekedésben hosszú múltra tekintenek vissza, a korai projektek az 1980-as években indultak. Ilyen volt az AERA (Automated En-Route Air Traffic Control) koncepció, amely az üzemanyaghatékonyság és az irányítói teljesítmény növelése, illetve a rendszerhibák csökkentése érdekében három szinten végezte volna az útvonalrepülés irányítását; az automatizált elkülönítési funkció a légi járművek között páronként biztosította az elkülönítést. Egy másik modul ennek a globális kontextushoz való igazodásáról gondoskodott és a harmadik modul légtér gazdálkodási tervező funkciókkal megakadályozta a forgalom oly mértékű sűrűségét, amelyet nem tudna kezelni az előző modul (Goldmuntz *et al.*, 1981). Az 1990-es évek elején futott az ARC2000 (Automatic Radar Control for the years beyond 2000) projekt az Eurocontrol égisze alatt, amely a légiforgalmi irányítás teljes automatizálását célozta meg 4D trajektóriák segítségével, amely figyelembe vette a számítási bizonytalanságokat; konfliktus esetén feloldási lehetőségeket ajánlott az irányítónak, aki a pilótával egyeztetve hozott döntést, azonban nem sikerült megbízható algoritmust fejleszteni hozzá (Mendoza, 1999). Más projektek kifejezetten az alacsony forgalmú időszakok automatizálását célozták meg, például a francia SAINTEX projekt az éjszakai időszakban az útvonalirányítást automatizálta előre megírt szabály alapon (Planchon *et al.*, 1993), a FREER-1 pedig a konfliktusokat a légi jármű fedélzetén oldotta fel a repülési szabályok kibővítésével (Irvine, 2005). A Spectra projekt kifejezetten az ember és gép közti feladatmegosztást vizsgálta az ember éberségének, szakértelmének csökkenése vagy túlterhelése kapcsán. Három különböző feladatmegosztási stratégiát vett figyelembe: csak az irányító van jelen (mint referencia), explicit megosztás (az irányító végzi a felosztást), implicit megosztás (a gép végzi a felosztást) (Planchon *et al.*, 1993). A kérdés aktualitását mutatja, hogy az elmúlt években sem csökkent a szakma érdeklődése. A 2016-ban elindult Autopace az Európai Unió projektje volt, amelyben két jövőbeli automatizált szcenárió tekintetében végeztek veszély- és kockázat elemzést (Automation Pace, 2016). Az elmúlt időszakban pedig a mesterséges intelligencia alkalmazása felé fordult a szakma figyelme, az EASA által 2018-ban alapított Internal task force on AI, vezető szerepet kíván vállalni az iparágban, célul tűzte ki az emberközpontú mesterséges intelligencia alkalmazásához megbízhatósági keretrendszer kidolgozását (EASA, 2023).

1.1 A légiközlekedés sajátosságai automatizálási szempontból

A légiforgalmi irányítás automatizálásakor problémát jelenthet a vészhelyzetek kezelése. Az általános gyakorlat az, hogy a vészhelyzetben lévő légi jármű a lehetőségek szerint minden kért manőverre engedélyt kap, amelyet a környező légtér szabaddá tételével biztosítanak. Az automatizálás után azonban a vészhelyzetek kezelése még az emberi kezelő feladata maradhat, kiváltképp az új rendszer bevezetésének első, korai szakaszaiban. Így a rendszer biztonságának fenntartása szempontjából kulcsfontosságú az irányító képességeinek és helyzet tudatosságának fenntartására.

A másik fontos kérdés a kommunikáció megvalósítása. Ha a számítógép hoz irányítási döntéseket, akkor ennek a pilóta felé való kommunikációja történhet a CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communication) rendszeren keresztül, azonban ez kommunikációs funkcionalitásában limitált (például csak nem időkritikus kommunikációra alkalmas); vagy történhet szóbeli kommunikációval. Ezzel megbízható az irányító, de akár a gépi rendszer is el tudja végezni a hangalapú kommunikáció értelmezését és utasítások ilyen módú közlését. Ez utóbbi megközelítést dolgozta ki Cordero *et al.* kifejezetten légiforgalmi irányítási környezetben (Cordero *et al.*, 2012).

A légiközlekedési iparág számára nem ismeretlen az automatizálás. Egy fontos szegmensében, a légi jármű fedélzetén már igen fejlett automatizált rendszerek működnek. A légi jármű pilótafülkéjében ember-gép csapatmunka zajlik, ahol kulcsfontosságú a köztük lévő kommunikáció és az ember mentális képe az automatizmus működéséről. Számos esemény közül egy példa az Eastern Airlines L-1011 esete, ahol a pilóták egy a pilótafülkében kigyulladó fényre fordították a figyelmüket, így nem vették észre, hogy a robotpilóta kikapcsolt, és a jármű a földre zuhant (Federal Aviation Authority, 1972).

A légiforgalmi irányítás egyik fontos sajátossága a szektorizáció, amely során a humán irányító munkaterhelése megfelelő értéken tartására a forgalomnövekedés függvényében az irányítandó légtér több, előre definiált módon szektorokra osztható. A folyamat racionálisan addig folytatható, amíg a szektorok közötti átadási feladatok jelentette többlet munkaterhelés nem haladja meg a légi járművek számának csökkenésével járó munkaterhelés enyhülést. Így tehát kialakul egy kommunikációs igény a szektorok között; ennek a kommunikációnak a megvalósítása történhet akár egy munkatermen belül vagy központok között is. Akkor válik szükségessé új szektort nyitni, ha a jelenlegiek túl nagy munkaterhelést jelentenek a humán irányító számára, túl nagy komplexitású a forgalom bennük. A forgalom komplexitásának pontos leírására és így a légtér kapacitásának kifinomultabb, pontosabb meghatározására számos algoritmus született. Például Számel *et al.* algoritmus, amely a légiforgalmi irányítókkal folytatott kérdőívvezetés és interjúk nyomán határozott meg tényezőket, pl. ilyen az emelkedő/süllyedő légi járművek száma, időjárás jelenségek stb., amelyek egy neurális háló paramétereiként szolgáltak (Számel *et al.*, 2015).

A távolkörzeti légiforgalmi irányítási folyamat hagyományosan párokban történik, a tervező irányító (PC, Planning Controller) és végrehajtó irányító (EC, Executive Controller) pozíciókban. Egy EC-PC páros felelősségi területe egy szektor. A PC feladata, hogy a légi járművek szektorba lépését megelőzően figyelje a szándékolt útvonalakat, és olyan egyeztetéseket végezzen (pl. a szomszédos szektorral a belépési pontot és magasságot illetően), amelynek eredményeképpen lehetőség szerint konfliktus mentes útvonalat tud biztosítani a légi jármű számára. Közben az EC a már szektorban lévő, konfliktáló légi járművekkel kommunikál, utasítások adásával feloldja a konfliktust.

Automatizált légiforgalmi irányítás kidolgozásakor kulcsfontosságú, hogy az illeszkedjen ezen folyamatba. Célszerű megoldás az automatizmust egy-egy szektorban működtetni, a többi szektor közötti interfészeket megtartva, így a fejlesztés realizisztikusan, lépésenként bevezethető. Ha a gépi irányítás egyaránt ellát az EC-hez és a PC-hez tartozó feladatokat is, akkor az EC-PC szerepek kis mértékben elmosódhatnak, azonban a tapasztalat azt mutatja, hogy a jelenlegi irányítási struktúrában is előfordulhat ilyen, különösen nagy forgalmi terheltség mellett és zavaró körülmények (pl. zivatarkerülés) fennállásakor.

Fontos megfontolás az automatizmus által ellátott feladatok körét illetően, hogy implementáláskor fokozatosan nőjön az átruházott feladatok köre; fokozatosan nyújtsa egyre

magasabb automatizálási szintet, először ajánlásokkal, majd az irányító által jól nyomon követhető beavatkozásokkal. Ezzel megalapozható a rendszerbe vetett bizalom és rendszer működéséről alkotott pontos kép, amely az ember-gép team munka alapjául szolgál.

2. AZ AUTOMATIZÁLÁS ALAPKÉRDÉSEI

Az automatizált funkciók körének bővülésével fontossá válik a rendszer automatizáltsági szintjét egzakt formában leírni. Az egyik első erre irányuló osztályozást Sheridan készítette, az automatizálást 10 szinten leírva, az 1. táblázat szerint (Sheridan, 1987).

A mai gyakorlatban több szegmensű modelleket használnak az automatizálás szintjeinek leírására. A légiközlekedésben a légiforgalmi irányítás automatizálását illetően az irányadónak tekinthető automatizálási szinteket a Safety and Airspace Regulation Group határozta meg. Ebben az információtól a beavatkozásig 4 csoportot különítettek el, az információ szerzést, az információ analízist, a döntés és beavatkozás választást és a beavatkozás végrehajtását. Ezekben belül külön megállapították az egyes funkciók lehetséges automatizálási szintjét (Safety and Airspace Regulation Group, 2016). A besorolás hiányossága, hogy figyelmen kívül hagyja az ember-gép együttműködés minőségét, erre vonatkozó követelményeket, amely szintenként változó lehet.

1. Táblázat. Az automatizálás szintjei (Sheridan, 1987)

Alacsony	1.	A számítógép nem nyújt segítséget, az embernek kell mindent elvégeznie.
	2.	A számítógép cselekvési alternatívák teljes készletét kínálja fel, és
	3.	leszűkíti a választéket néhányra, vagy
	4.	javasol egyet, és
	5.	végrehajtja ezt a javaslatot, ha az ember jóváhagyja, vagy
	6.	az embernek korlátozott időt hagy a vétőzásra az automatikus végrehajtás előtt, vagy
	7.	automatikusan végrehajtja, majd szükségyszerűen tájékoztatja az embert, vagy
	8.	csak a végrehajtás után tájékoztatja az embert, ha az kéri, vagy
	9.	a végrehajtás után tájékoztatja az embert, ha a számítógép úgy dönt.
Magas	10.	A számítógép mindent eldönt és önállóan cselekszik, figyelmen kívül hagyva az embert.

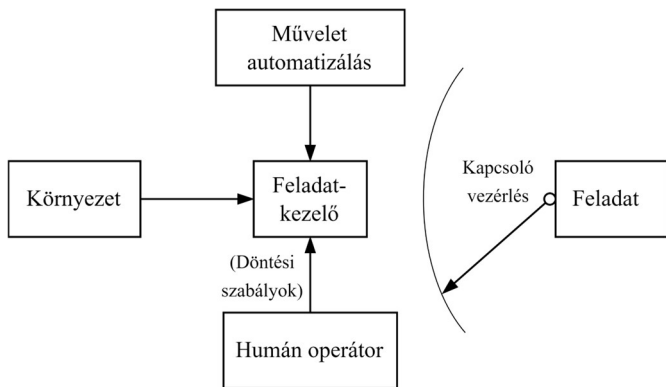
2.1 Out-of-the-Loop jelenség

Az automatizálás, és azon belül a légiforgalmi irányítás automatizálása számos problémát von maga után, amelyeket már a múlt században is megállapítottak, azonban még modern tanulmányok is foglalkoznak a megoldási lehetőségekkel. A nehézségek azonosításakor a kiindulás egy magas szintű automatizálás elképzelése, amelyben az emberi irányítónak felügyeleti szerepe van. A biztonság elérése érdekében az ember folyamatosan megfigyeli a rendszer működését és szükség esetén manuálisan beavatkozik, kezelheti a vészhelyzeteket.

Már korai tanulmányok is rámutattak az emberi irányító passzivitásából eredő teljesítményromlására (Bainbridge, 1983). Ez a szakirodalom által out-of-the-loop néven hivatkozott jelenség. Ehhez Rose egy teljesítményromlási modellt is kidolgozott (Rose, 1989). Parasuraman *et al.* pedig megállapította, hogy ha az irányító a rendszerben marad, „in-the-loop”, akkor nagyobb hatékonysággal végzi a megfigyelést (Parasuraman *et al.*, 1993).

Az ember figyelmének fenntartása fizikai eszközökkel is elérhető; fiziológiai jelek figyelésével (pl. szemmozgás, agyhullámok stb.) meghatározható, hogy mikor csökken az irányító figyelme, így valamilyen beavatkozás végezhető. Számos tanulmány rámutatott, hogy ennél hatékonyabb

módszer az adaptív automatizálás ötlete, amelynek vázlatát az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Zárt hurkú adaptív irányítás (National Research Council, 1998)

A modellben a felmerülő feladatokat egy adaptív logika allokálja az emberi irányító és az automatizmus között. A modern kutatások ezen adaptív logika (az 1. ábrán Feladatkezelő blokként jelzett) megvalósításával foglalkoznak. Di Flumeri *et al.* agy-számítógép interfészt készített EEG berendezés használatával, feladatok allokálásával megfelelő szinten tartva a légiforgalmi irányítók agyi aktivitását (Di Flumeri *et al.*, 2019). Ígéretes módszer a konvolúciós neurális hálók alkalmazása, amellyel van Rooijen *et al.* valós forgalmi szituációban képes megjósolni az irányító döntéseit egyéni szinten, így sikerült megbízható konfliktus feloldó algoritmust nyújtani (van Rooijen *et al.*, 2020).

Fontos az adaptív és az adaptálható automatizálás közötti különbség megállapítása. Az adaptálható automatizmusban az emberi irányító végzi a feladatallokálást, azaz maga állíthatja be, hogy az adott feladatot el kívánja-e végezni, vagy az automatizmusra bízta. Ez jelentheti egyszerűen az automatizmus ki/be kapcsolását, vagy valamilyen mód választását, így változtatva az automatizálási szintet. Ilyen megoldások találhatók akár a személygépjárművekben, akár a repülőgép fedélzetén is. Adaptív automatizálás esetén az adaptív logika működésére nincs közvetlen befolyással az emberi irányító (nem ő kapcsolja), hanem valamilyen gépi algoritmus alapján vagy külső emberi behatásra (pl. supervisor) történik, amelynek lehet bemenete az emberi irányító aktuális állapotára vonatkozó megfigyelés vagy számítás (pl. mikor kapott utoljára feladatot) (National Research Council, 1998).

Elméleti szinten az adaptív automatizálást kevésbé érinti az emberi hiba, mint a statikus automatizálást, az emberi szereplő „in-the-loop” tartásán keresztül (Parasuraman *et al.*, 1990). Az adaptálható automatizálásban azon keresztül, hogy az emberi irányító maga állítja be a kívánt automatizálási szintet biztosítható, hogy magas fokon tisztában legyen a rendszer állapotával, aktuális működésével, míg adaptív forma esetén ez rejtve maradhat előtte, ezzel negatívan befolyásolva a rendszerbe vetett bizalmat és a hibák észlelésének képességét (National Research Council, 1998).

Az adaptív és adaptálható automatizálás különböző formáinak hatékonyságát számos tanulmányban kísérleti úton vizsgálták. Sauer *et al.* kísérletében azt tapasztalta, hogy habár az irányítók teljesítményében nem volt különbség, de az adaptálható automatizálást használók nagyobb magabiztosságra tettek szert a rendszer kezelését illetően (Sauer *et al.*, 2012). Parasuraman *et al.* kísérletében időalapú feladatallokálást végeztek, többfeladatú repülőgép fedélzeti szimulátorban (multiple-task flight simulation). A szimuláció 90 perces blokkokban zajlott, melynek közepén 10 perc időtartamra az irányítóhoz került a korábban automatizált, hajtómű státusz ellenőrzési feladat. Az eredmények szerint a kézi feladatról való visszatérés utáni időszakban jelentősen jobb volt az automatizálás hibáinak észlelése, mint az azt megelőző szakaszban (Parasuraman *et al.*, 1996). Chavaillaz *et al.* kísérletében alacsony, közepes és magas megbízhatóságú adaptálható automatikát használó irányítókat vizsgáltak, akik öt különböző automatizálási szint közül választhattak szabadon. Az eredmények szerint az alacsonyabb megbízhatóságú rendszert használók automatikába vetett bizalma alacsonyabb volt, mint a magasabb megbízhatóságú használóké, azonban ez nem mutatott összefüggést azzal, hogy mennyire támaszkodtak az automatikára. Továbbá a megbízhatóság csökkenésével romlott a diagnosztika sebessége és a prospektív memória (Chavaillaz *et al.*, 2016).

Az adaptív automatizálási struktúra más iparágakban is jelentős szerepet kapott, léteznek ipárgspecifikus módszerek az ilyen rendszerek tervezésére és tanúsítására, pl. a U.S. Nuclear Regulatory Commission által kiadott HSI Review Guidance for Automation Systems, amely külön figyelmet fordít a kijelzésekre, riasztásokra, értesítésekre, státusz információkra (O’Hara *et al.*, 2020).

2.2 Humán Faktor

Annak megállapítása után, hogy a modern ipari irányítási rendszerekből az emberi tényező nem küszöbölhető ki teljesen, az automatizált rendszerek valójában ember-gép rendszerek, így elengedhetlenné válik az emberi hiba vizsgálata. Az ilyen rendszerek ma már összetett szervezeti háttérben működnek, ezért a rendszer biztonságának vizsgálatok különböző vállalati, szervezeti aspektusok vizsgálata is szükséges. Ezen a területen külön minőségirányítási és biztonságirányítási rendszerek léteznek. Ezeket abból a célból hozták létre, hogy a szervezeti háttérben zajló folyamatokon, gyakorlatokon keresztül csökkentsék a hagyományos értelemben, a rendszerben lévő emberi irányítóhoz köthető emberi hiba valószínűségét. A biztonságirányítási (SMS) rendszerek követelményeit ISO szabványok rögzítik.

Az emberi tényező biztonsági elemzésére alapvetően két megközelítés különíthető el; a Human Factors (HF) és a Human Reliability Analysis (HRA).

A Human Factor Boring *et al.* szerint definíció szerűen lehet az ember és technológia kölcsönhatásának vizsgálata. Új rendszerek tervezésekor empirikus adatok (pl. munkaterhelés, helyzettudatosság, stb.) alapján azonosítja a technológiai

rendszer azon területeit, amelyek nagymértékű kitétséget mutatnak az emberi tényezőnek, azaz ezeken keresztül az emberi komponens képes a rendszer biztonságának veszélyeztetésére (Boring *et al.*, 2008).

A kockázatelemzések során az emberi komponens megbízhatóságának értékelésére a Human Reliability Assessment HRA módszerek valószínűség alapú kockázat értéket eredményeznek, azonban a már létező rendszerből indulnak ki. A HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) módszer ötvözi a HF és HRA megközelítést, az ember megbízhatatlanságának hatását vizsgálja és a rendszer tervezését optimalizálja (Williams, 2015).

3. AUTOMATIZÁLÁSI JAVASLAT

A légiforgalmi irányítás rendszere igen komplex rendszernek tekinthető, több részrendszere osztható és azokban nagy számú elemet tartalmaz, amelyek között összetett kapcsolatok állhatnak fent. Mindemellett biztonságkritikus ágazatról van szó, amelyben például a vasúti közlekedéssel ellentétben nem értelmezhető biztonsági állapot, energiaminimum, hanem az üzem biztonságát annak folytonosságával lehet elérni.

Automatizáláskor a korábban emberi irányítón lévő felelősség átkerül az automatizmus tervezőjére. Így látható, hogy a legnagyobb kihívás az automatizálendő funkciók specifikációja. A biztonságkritikus rendszerek automatizálásának validálásakor ellenőrizhető, hogy a létrehozott rendszer megfelel-e a specifikációban foglaltaknak, azt sokkal nehezebb ellenőrizni, hogy a specifikáció valóban teljes volt-e, minden részét lefedi-e annak a funkcionális térnek, amelyben az automatizmust üzemeltetni kívánják.

A specifikáció teljességének problémája nem csak a gépi rendszereket érinti, hanem a humán alapú irányítási rendszert is; a humán irányító képzése során. A képzési anyag teljessége párhuzamba állítható az automatizált rendszer specifikációjával, hiszen a humán irányító is elvben csak azokat a funkciókat képes a meghatározott biztonsági szinten ellátni, amelyre a képzése kiterjedt. Az, hogy egy szituáció kívül esett a képzésen vagy a specifikációs téren, nem szükségszerűen jelenti azt, hogy a humán irányító ne tudná megoldani a tudását és a korábbi tapasztalatait felhasználva, ugyanakkor egy hagyományos gépi rendszerben csak az előre definiált szituációk kezelése biztosított.

Így a javaslat megfogalmazásakor jelentős egyszerűsítést jelent, ha a specifikáció teljessége nem képez feltételt; csak egy kívánt specifikáció elkészítése szükséges a specifikáció érvényességi határainak a megadásával; ez alapján megfelelő biztonsági szinten meg lehet tervezni és validálni egy automatizmust. Ennek következménye, hogy a rendszer üzeme során lesznek olyan események, amelyek kívül esnek ezen a specifikációs téren; ezek megfelelő kezelése miatt szükségszerű az emberi irányítót továbbra is a rendszerben tartani.

Az emberi irányítót a rendszerben tartva felmerül, hogy

hogyan rontja a rendszer biztonsági szintjét, ha az ember képességei a csökkent gyakoriságú használat nyomán degradálódnak (feltételezve, hogy a megoldandó szituációk igen jelentős része a specifikálható, így gépileg is kezelhető térbe esik), vagy ha az automatizmusba vetett bizalom miatt kevésbé kíséri figyelemmel a rendszer üzemét így a helyzettudatossága romlik. Az olyan funkciók miatt, amelyek a specifikáción kívül esnek, és a humán résztvevőnek kell ellátnia, kulcsfontosságú, hogy az irányító megfelelő helyzetképpel és képességgel rendelkezzen. Ez biztosítható, ha a rendszer bizonyos feladatokat akkor is a humán irányítónak allokál, ha egyébként az nem esik kívül a specifikáción, és a rendszer képes lenne azt megoldani.

A rendszerben a humán és a gépi irányítás csapatban dolgozik. A gép ismeri a humán irányító modelljét, ez alapján feladatokat allokál neki, anélkül, hogy a humán tag tudná, mely okból kapja a feladatot: (i) a humán munkaterhelés optimális szinten tartása: ne legyen túlzottan alacsony vagy túlzottan magas a munkaterhelés; (ii) a humán helyzettudatosság fenntartása; (iii) a gépi rendszer specifikációján kívül eső feladat, amelyről nem dönthető el, hogy kellő biztonsággal meg tudja-e oldani a gépi rendszer.

A 2. ábra a vázolt rendszert szemlélteti. Az ábrán bal oldalon megjelennek a végrehajtandó feladatok, amelyek az automatizmus funkcionális térén belül vagy kívül eshetnek – feltételezésünk szerint jelentősen nagyobb arányban belül. Az elv egy kérdéses pontja, hogy mennyire dönthető el egyértelműen egy adott feladról, hogy kívül esik-e a specifikáción. A feladatok egy feladat allokációs logikába futnak be, kivéve azok, amelyeket a gépi rendszer nem tud megoldani – a gyakorlati megvalósításban ezeket is ugyanaz a rendszer modul kezeli. Az ábra azt szemlélteti, hogy ezeknél a feladatoknál nem áll fent a döntés lehetősége. A maradék feladat alkalmas arra, hogy a feladat allokációs logikai egység kiválogasson belőle olyanokat, amelyekkel az irányítóról képzett modell alapján az irányító helyzettudatossága és munkaterhelésének optimális szintje fenntartható. Az irányítóról alkotott modelle visszahat az irányító viselkedése – ez történhez közvetlen megfigyeléssel, vagy a kiosztott feladatok nyomán becslésekkel.

A gyakorlatban a légiforgalmi irányítás mindennapi feladatainak specifikációja viszonylag magas szinten elkészíthető, így ritkán adódnának olyan esetek, amelyek ezen a specifikációs téren kívül esnek; akkor viszont várhatóan komplex, nem triviális megoldású helyzetekről lesz szó, ezért különösen fontos, hogy ilyenkor a humán irányító rendelkezésre álljon. A rendszer fejlesztésével pedig a specifikációban lévő funkciók köre bővíthető: a rendszer fejlődése során a specifikáción kívüli feladatok összegyűjthetők és integrálhatók a rendszerbe, így bővítve a specifikáció funkcionalitását, és egy átmeneti időszak után hosszú távon akár a teljes automatizálás is megvalósítható. Ennek eredményeként a specifikáción kívüli új helyzetek idővel egyre összetettebbé válhatnak, egyre nehezebben kezelhetők azokat a humán irányító; viszont fellépési valószínűségük is folyamatosan csökken. A könnyen

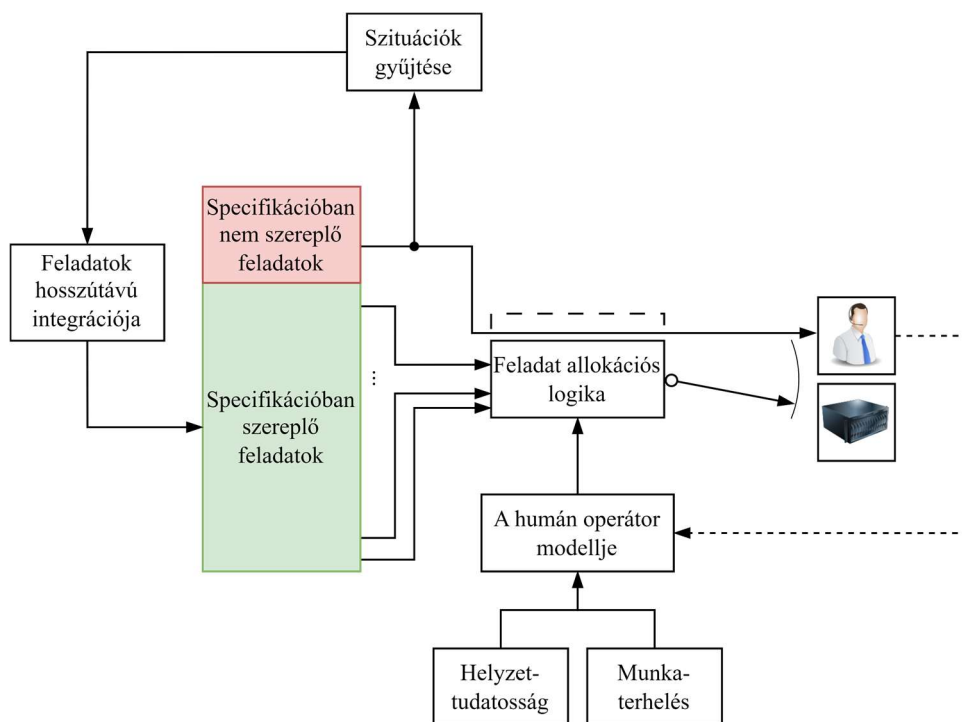
specifikálható funkciók esetében érdemes determinisztikus automatizálást megvalósítani, így könnyen megtalálható a biztonsági szintjüket garantáló biztonsági szabvány. A nem determinisztikus feladatok esetében a hagyományos automatizálással ellentétben mesterséges intelligencia alkalmazását lehet megfontolni az egyre komplexebb helyzetek kezelésére.

A megvalósítás során kulcskérdésként jelentkezik az interfészek kialakítása. Jelen elv azzal a feltételezéssel került megfogalmazásra, hogy a gépi irányítás az emberrel teljesen megegyező interfészeket tud biztosítani, illetve kezelni; így a külső résztvevő számára megkülönböztethetetlen, hogy kivel cserél információkat (pl. kitől kapja az utasításokat), hasonlóan egy szektor határ átlépéséhez.

Az automatizálás ilyen módú megvalósításának előnye, hogy

(i) nem igényli a teljes jelenlegi irányítási struktúra újra alkotását; az egyes szektorokban bevezethető anélkül, hogy bármelyik másakra hatással lenne; (ii) nagyobb kapacitást biztosít, mivel az ember-gép páros feltételezhetően nagyobb forgalom kezelésére képes, mint az ember egyedül, így nagyobb szektorok is kialakíthatóak.

A bemutatott elv kétségkívül felvet néhány kérdést is, így a vészhelyzetek kezelését, amely első sorban a humán irányító feladatát képezné, főleg a rendszer korai időszakában. Fennáll annak is a veszélye, hogy a gépi algoritmus az általa megoldhatónak ítélt konfliktusok sorozatos feloldásával egy adott területen túl komplex forgalmi szituációt hoz létre, amely kezelése már az emberi irányítónak is nehézséget okozhat. A gépi irányítás tervezésekor ez szem előtt tartandó szempont.



2. ábra. Feladatmegosztás a javasolt rendszerben

4. KONKLÚZIÓ

A korábbi ATC automatizálási erőfeszítések és általános automatizálási megfontolások alapján cikkünkben új automatizálási elvet mutattunk be. A bemutatott elv, bár hasonlít a meglévő adaptív automatizálási struktúrához, de lényegesen továbbfejleszti azt. A különbség az, hogy a hagyományosan adaptív automatizálásként ismert rendszerekben az emberi irányító felügyeleti funkciót lát el, ahol a feladatokat az emberi gyengeségek kompenzálására osztják ki. Az általunk javasolt struktúrában azonban az emberi irányító (tudás alapon) biztosítja a biztonság elérését anélkül, hogy a fejlesztő garantálna a specifikáció teljességét. Ezáltal az emberre marad minden olyan feladat, amelyet a gép nem tud elvégezni. A légiforgalmi irányítás

feladatmegosztását figyelembe véve kijelenthető, hogy a javasolt megoldásban a specifikációs téren kívüli feladatok csak kis gyakorisággal lépnek fel, így az irányító munkaterhelése túl alacsony, nem figyeli a forgalmat, és a helyzettudatossága csökkenhet. Ezzel szemben azok a helyzetek, amelyeket a gép nem tud kezelni, várhatóan nagyon összetettevé válnak - sőt, idővel egyre összetettebbé válnak, ahogy a korábban nem specifikált szituációkat összegyűjtik és implementálják -, így ilyen esetekben a rendszer biztonsága szempontjából elengedhetetlen, hogy az irányító megfelelő helyzettudatossággal rendelkezzen. Ezt úgy lehet biztosítani, ha a rendszer az egyébként a gép által elvégzendő feladatok egy részét az emberre bizza. Ennek az elvnek az az előnye, hogy az automatizált funkciók körének bővítésével teljes automatizálás érhető el. Ezenkívül az interfészek megtartása

mellett, a megoldás bevezetése egy szektorban nem érinti a szomszédos szektorokat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk első szerzőjének kutatómunkáját az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP-23-2-I) Felsőoktatási Mesterképzés Hallgatói Kutatói ösztöndíjjal támogatta, azonosító: ÚNKP-23-2-I-BME-183.

HIVATKOZÁSOK

- Automation Pace [online cit. 2023-06-21]. <https://cordis.europa.eu/project/id/699238>
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica* **19** (6): 775–79.
- Boring, R. L. és A. Bye (2008). Bridging human factors and human reliability analysis. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 52nd Annual Meeting*. 733-737
- Chavaillaz, A., D. Wastell és J. Sauer (2016). System reliability, performance and trust in adaptable automation. *Applied Ergonomics* **52**: 333-342.
- Cordero, J., M., M. Dorado és J., M. de Pablo (2012). Automated Speech Recognition in ATC Environment. *ATACCS '12: Proceedings of the 2nd International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems*, pp 46-53.
- Di Flumeri, G., F. De Crescenzo, B. Berberian, O. Ohneiser, J. Kramer, P. Arico, G. Borghini, F. Babiloni, S. Bagassi és S. Piastra (2019). Brain-Computer Interface-Based Adaptive Automation to Prevent Out-Of-The-Loop Phenomenon in Air Traffic Controllers Dealing With Highly Automated Systems. *Frontiers in Human Neuroscience* **13**(296):1-17
- EASA (2023). *Artificial Intelligence Roadmap 2.0; Human-centric approach to AI in aviation*. May 2023, Version 2.0; <https://easa.europa.eu/ai>
- EUROCAE ED-109A. (2012). *Software Integrity Assurance Considerations for Communication, Navigation, Surveillance and Air Traffic Management (CNS/ATM) Systems*.
- EUROCAE ED-153. (2019). Guidelines for ANS Software Safety Assurance.
- Federal Aviation Authority (1972). Eastern Airlines Flight 401, L-1011, Accident near Miami - Accident Overview. Lessons Learn.
- Goldmuntz, L., J. T. Kefaliotis, L. A. Kleiman, R. A. Rucker, L. Schuchman és D. Weathers (1981). *The AERA Concept*. Office of Systems Engineering Management. US. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Report No. FAA-EM-81-3, March 1981.
- IEC 61508:2010. *Villamos/elektronikus/programozható elektronikus biztonsági rendszerek működési biztonsága*. -1...-7 részek.
- Irvine, R. (2005). *Distributed Centralisation: A Speculative Approach to the Coordination of Airborne Conflict-Free Trajectory Re-Planning Using an Array of Sequences*. Eurocontrol Experimental Centre. EEC Note No. 21/05, November 2005.
- ISO/PAS 21448:2022. *Road vehicles – Safety of the intended functionality*.
- Mendoza, M. (1999). *Current State of ATC Conflict Resolution*. Eurocontrol Experimental Centre. EEC Note No. 12/99, September 1999.
- National Research Council, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, Board on Human-Systems Integration, és Panel on Human Factors in Air Traffic Control Automation. (1998). *The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- O'Hara, J. és J. Higgins (2020.) *Adaptive Automation: Current Status and Challenges*. Brookhaven National Laboratory
- Parasuraman, R., T. Bahri, J. Deaton, J. Morrison és M. Barnes (1990). *Theory and Design of Adaptive Automation in Aviation Systems*. Technical Report No. CSL-N90-1, Cognitive Science Laboratory. Catholic University of America, Washington, DC.
- Parasuraman, R., R. Molloy és I., L. Singh (1993.) Performance consequences of automation-induced complacency. *The International Journal of Aviation Psychology* **3**:1-23.
- Parasuraman, R., M. Mouloua és R. Molloy (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors* **38**:665-679.
- Planchon, P., P. Salembier, S. Manchon és B. Pavard (1993). Use of advanced technologies in ATM (air traffic management) domain. *Transactions on Information and Communications Technologies*, **Vol 1**:35-45.
- Rose, A., M. (1989). Acquisition and retention of skills. In: *Application of Human Performance Models to System Design*, G. McMillan et al., eds. New York: Plenum Press.
- Safety and Airspace Regulation Group. 2016. *ATM Automation: Guidance on human-technology integration*. Reference:CAP1377; Version:1.1; 1 March 2016; Civil Aviation Authority.
- Sauera, J., C. S. Kaoa és D. Wastell (2012). A comparison of adaptive and adaptable automation under different levels of environmental stress. *Ergonomics*, **55**(8): 840-853.
- Sheridan, T. B. (1987). Supervisory Control. *Handbook of Human Factors*. G. Salvendy, ed. pp. 1243–1268. New York: Wiley.
- Számel, B., I. Mudra és G. Szabó (2015). Applying Airspace Capacity Estimation Models to the Airspace of Hungary. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* **43**: 3 pp. 120-128.
- van Rooijen, S. J., J. Ellerbroek, C. Borst és E. van Kampen. (2020). Toward Individual-Sensitive Automation for Air Traffic Control Using Convolutional Neural Networks. *Journal of Air Transportation* **28**(2):1-9.
- Williams, J., C. (2015). HEART – A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology. *Safety and Reliability*, **35**(3): 5-25