

Madácsi Richárd

## DATA SCIENCE TECHNIKÁK ALKALMAZÁSA A FUTÓPÁLYA-HATÉKONYSÁG NÖVELÉSÉBEN

*A futópálya hatékonyság növelése fontos célja a SESAR<sup>1</sup>-nak. Több potenciális megoldás is létezik a végső egyenesen való térközök szűkítésére, ami a megfelelő repülésbiztonsági kritériumok betartása mellett növeli a futópálya áteresztő képességét. Ennek a törekvésnek a támogatásához segítségül hívhatjuk a data science területet is, különös tekintettel a gépi tanulási algoritmusokra. A cél, megbecsülni egy érkező légitársaság futópálya-elhagyási helyét, és az alapján a futópálya-foglaltsági időből származtatható térköz csökkenthető. Fontos továbbá becsülni egy adott gurulóúton való futópálya-elhagyás valószínűségét, hogy a csökkentett térköz okozta repülésbiztonsági kockázatokat még időben kezelni lehessen.*

**Kulcsszavak:** data science, machine learning, futópálya-hatékonyság, repülésbiztonság

### BEVEZETÉS

A HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt-nél más komoly, nagy cégekhez hasonlóan temérdek adat keletkezik. 20–30 évvel ezelőtt, amikor adattároló és feldolgozó kapacitás nem volt elérhető áron megfelelő minőségben, még bocsánatos bűnnek számított, hogy a bitekben, bájtokban összegyűlt tudás a virtuális szemétdombra került. 2015-ben azonban egy modern ANSP<sup>2</sup> már nem engedheti meg magának, hogy a fokozódó nemzetközi versenyben ne legyen tisztában működésének minden rezdülésével, és azokra ne reagáljon a megfelelő módon.

Az adatok felhasználását tekintve azonban az emberekben sokszor egy statikus kép él a magyar terminológia hiányában data science-ként emlegetett területtel kapcsolatban. Ezt a tudományt, foglalkozást űző szakemberekre vonatkozó általános definíció szerint a data scientist feladata az adatokban rejlő rejtett összefüggések, értékes tudás kibányászása. Ez viszont távolról sem jelenti azt, hogy az eltárolt adatokból néhány lekérdezéssel, és a lekérdezés eredményéből valamely statisztikai mutató számításával bezárul a data scientist tevékenységi köre. Jelen cikk célja annak bemutatása, hogy hogyan lehet légiforgalmi irányítói támogató eszköz fejlesztésében felhasználni a fejlett, adattudósok által használt algoritmusokat, módszereket.

### FUTÓPÁLYA-HATÉKONYSÁG

Európai törekvés, hogy a repülőtér kapacitását, ami a European ATM Master Plan<sup>3</sup> kontextusában a futópálya-áteresztő képességet jelenti, legalább 14%-kal növeljék [1]. Ez egyelőre a legnagyobb forgalmú „best-in-class” reptereket érinti kötelezően.

A futópálya-kapacitást érkező forgalom tekintetében a végső egyenesen a két egymást követő légitársaság között tartandó térközök nagysága befolyásolja. Ezeknek a térközöknek két alapvető

<sup>1</sup> Single European Sky ATM Research - Egységes Európai Égbolt légiforgalom-szervezési Kutatási Program

<sup>2</sup> Air Navigation Service Providers – Léginavigációs szolgáltató

<sup>3</sup> Európai Légiforgalmi Szolgáltatási Főterv

funkciója van; veszélyes közelség megelőzése a levegőben, valamint veszélyes közelség megelőzése a földön. Az előbbire példa a radar- és turbulencia elkülönítési minimum, az utóbbira pedig a pályaelhagyási időkből számított, időben történő pályaelhagyást biztosító térköz (futópálya-elkülönítés). Értelmszerűen ezen értékek csökkentésével növelhető egy futópálya érkező kapacitása. A kérdés az, hogy hogyan.

### *Radarelkülönítési minimum*

A radarelkülönítési minimum csökkentése a legegyszerűbb, hiszen az egy nemzetközi előíráson alapul, ami viszont egy komoly kockázatelemzésen. A SESAR 6.8.1 projekt egyik célja a 2NM radarelkülönítési minimum bevezetése a megkívánt felderítési teljesítmény (Required Surveillance Performance – RSP) előírásokon keresztül [2].

### *Turbulencia elkülönítési minimum*

A turbulencia esetére előírt értékek csökkentésére több, egymásra épülő javaslat létezik. Az első lépés a jelenlegi, több mint 40 éves, légi jármű kategóriákra alapuló ICAO<sup>4</sup> szabályok felülvizsgálata. Az Eurocontrol<sup>5</sup> RECAT-EU programja szintén légi jármű kategóriákat vesz alapul, de sokkal nagyobb felbontásban, így egyszerre tudja a hatékonyságot és a repülésbiztonsági szintet növelni [3][4]. A következő lépés a légi jármű kategóriákról a légi jármű típusokra való áttérés. Ez egy elkülönítési mátrixot jelent, ahol a sorok és oszlopok egy-egy légi jármű típust jelentenek, a mátrixban szereplő értékek pedig az adott géppárra vonatkozó (Pair Wise Separation) turbulencia elkülönítési minimumok [4]. Ennél is tovább megy a dinamikus páronkénti szeparáció elve, ami már nem egy statikus elkülönítési mátrix használatát írja elő, hanem egy olyan függvény felállítását tűzi ki célul, amely a légi jármű típusán kívül figyelembe veszi az időjárási körülményeket, valamint a légi jármű által lesugárzott, dinamikus paramétereket [4][5].

### *Időn alapuló elkülönítés*

A jelenlegi, távolságban meghatározott turbulencia elkülönítési minimumok nem veszik figyelembe az adott helyzet meteorológiai jellemzőit. Erős szembeszélben a végső egyenesen egymást követő légi járművek föld feletti sebessége csökken, így megnő a köztük lévő időkülönbség. Az első légi jármű által keltett esetleges turbulencia eloszlásához viszont egy adott, időben meghatározott érték szükséges. Emiatt bizonyos szélviszonyok mellett a rendszer túl konzervatív, és így pazarlóvá válik [5]. Ennek megoldására merült fel az időn alapuló elkülönítés koncepciója, ahol a légi forgalmi irányítóknak már nem egy adott távolságot kell biztosítani két légi jármű között abban a pillanatban, amikor az első légi jármű átrepüli a küszöböt [6], hanem egy idő értéket.

Az időn alapuló elkülönítés módszerét abban az esetben is érdemes használni, amikor a futópálya infrastruktúra nem teszi lehetővé a lehető legkisebb radarelkülönítési minimum alkalmazását, mert a futópálya-foglaltsági időkből számított térköz nagyobb elkülönítést tesz szükségessé.

---

<sup>4</sup> International Civil Aviation Organization - Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

<sup>5</sup> Európai szervezet a légi közlekedés biztonságáért

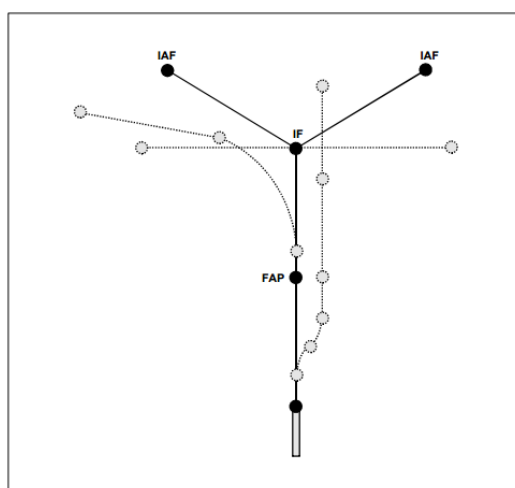
### *Futópálya-foglaltsági idő menedzsment*

A futópálya-elkülönítés végső egyenesre vonatkozó követelményei egyértelműen a futópálya-foglaltsági időkből (Runway Occupancy Time – ROT) származtathatók. Ebből következően érdemes ezt a paramétert is megpróbálni úgy befolyásolni, hogy abból hatékonyság növekedés származzon a repülésbiztonsági mutatók romlása nélkül. Ezek módjai az optimalizált fékezés leszállás után egy adott gurulóúton való elhagyás érdekében [8] valamint a ROT becslése a légijármű karakterisztikái alapján [7].

## AUTOMATIZÁLÁS

A futópálya-hatékonyság növelését célzó tervekben egyértelműen látható, hogy a végső egyenesen való radarirányítói működés magas fokú automatizálást von maga után. A jelenlegi munkamódszer szerint a légijárművek végső egyenesre helyezésekor a bevezető irányító a hazai jogszabályokban és az ATS kézikönyvben lefektetett szabályoknak, elkülönítési értékeknek megfelelően dolgozik, ahol a szükséges értékeket az irányító a relatív kevés esetre való tekintettel fejben tudja tartani. A géppáronként eltérő értékeket előíró szeparációs mátrix viszont már annyi adatot tartalmazna, amit nem lehet megtanulni. Ha ezek nem is fix értékek, hanem szituációról szituációra változnak, akkor az adott helyzetre vonatkozó számított elkülönítés értékeit az irányító számára meg kell jeleníteni a radarképernyőn. Az időn alapuló elkülönítés koncepciója is szükségessé teszi a szeparációs indikátorok elhelyezését a végső egyenesen, amely az időben számított, de a légiforgalmi irányító radarképernyőjére távolságban megjelenített elkülönítések pontos nagyságát jelölik [5].

A végső egyenesen való radarirányítás magas fokú automatizálása mellett további érv a nem egyenes szakaszú végső megközelítéssel rendelkező légiforgalmi eljárások megjelenése. Természetesen az akadályok és a domborzati viszonyok kevés repülőtéren indokolják ezeknek a fejlett eljárásoknak az alkalmazását, de nem szabad megfeledkezni a zajvédelmi problémákról, amelyre hathatós megoldást jelenthet ez a fejlesztés [8].



1. ábra Fordulót tartalmazó és egyenes megközelítés [11]

A fenti ábrán látható szituáció könnyen előállhat a jövőben, amikor a zajvédelmi eljárást lerépülni képes járatok párhuzamosan üzemelnek majd a hagyományos végső egyenest használó érkezőkkel. A küszöbre előírt, időn vagy távolságon alapuló térköz létrejöttét és fenntartását szemmel szinte lehetetlen a fenti eljárás konfigurációban biztosítani, így szükséges az irányítói eszközök fejlesztése. A HungaroControl már alkalmaz egy olyan eszközt [12], amely a hátralévő útvonalak hosszát méri, és annak különbségét kijelzi a légiforgalmi irányítóknak, ami a több különböző útvonalon végrehajtott megközelítés esetére is megfelelő megoldást nyújt. Mivel az eszköz tetszőlegesen szükséges térköz érték bevitelét lehetővé teszi, ezért mind a szeparációs mátrix, mind pedig az időn alapuló elkülönítés támogatására alkalmas.

Amennyiben elfogadható az az érvelés, hogy a magasabb fokú automatizálásra a jövőben szükség lesz, továbbá már jelenleg is létezik egy eszköz, ami a várható előírásokkal, fejlesztési irányokkal kompatibilis, érdemes elgondolkodni, hogy milyen egyéb extra funkciót lehet beépíteni.

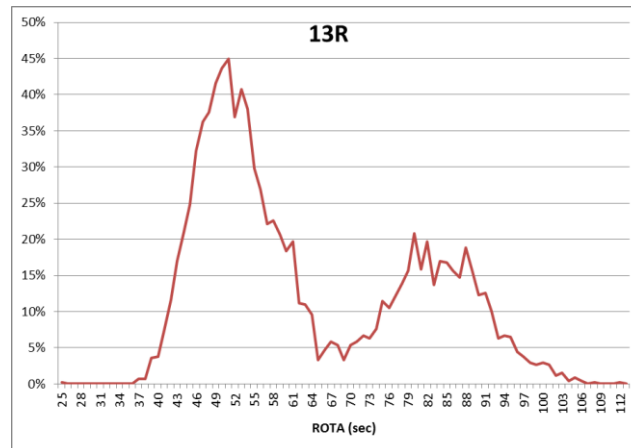
## FEJLESZTÉSI JAVASLAT

Ahhoz, hogy a végső egyenesen a futópálya-elkülönítés nagyságát befolyásoló pályaelhagyási időt becsüljük, a légijármű tulajdonságait már a végső megközelítés előtt meg kell figyelni, ebben a fázisban viszont még szinte azonos paraméterekkel üzemelnek az érkezők. A pályaelhagyási idő többek között függhet a küszöbátrepülési sebességtől, a kilebegtetés hosszától, a talaj menti széliránytól és erősségtől, a futópályán való fékezést befolyásoló tényezőktől. Ezen tényezők megfigyelése és futópálya-foglaltsági idő becslésében való felhasználása már túl késő ahhoz, hogy az eredmények alapján esetlegesen kisebb térközt hozhasson létre a bevezető irányító a végső egyenesre való ráhelyezésnél a futópálya áteresztőképességének növelése érdekében.

Azt viszont könnyebben megállapíthatjuk, hogy bizonyos géptípusok bizonyos meteorológiai körülmények mellett képesek például a LHBP6 13R jelű futópályáját a J4 gurulóúton elhagyni. Ez azért fontos, mert az alábbi diagramon is látható, hogy a különböző gurulóutak pályaelhagyásra való használata több módusú pályaelhagyási idő eloszláshoz vezet. A végső egyenesre vonatkozó futópálya elkülönítéshez a legrosszabb esettel számoltunk annak érdekében, hogy a repülésbiztonsági kritériumok által meghatározott számot ne lépje túl semmilyen körülmény esetén sem a futópálya sértések száma. Ebből következően, ha nagy pontossággal meg tudnánk állapítani a futópálya elhagyásának várható helyét, akkor az adott (például J4) gurulóúthoz tartozó legrosszabb értéket vennénk figyelembe (~70 sec) a teljes eloszlás legrosszabb értéke helyett (~110 sec). Ez a végső egyenesen előírt térközökben is nagyságrendileg hasonló csökkenést vonna maga után.

---

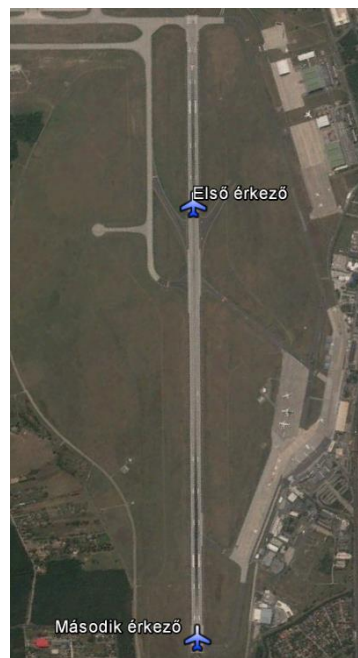
<sup>6</sup> Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtér ICAO kódja



2. ábra Futópálya-foglaltsági idők 13R pálya esetén, érkezők

A gurulóút becslése viszont önmagában még nem megoldás. Mi történik akkor, ha mégsem azon a ponton hagyja el az érkező a pályát, amire a radarirányító számára előírt térköz lett számolva?

Az időn alapuló elkülönítés koncepcióját használva a könnyebb megértés érdekében, tételezzük fel, hogy a J4 gurulóutat és legrosszabb esetben 70 másodperces pályaelhagyást feltételezve az előírt időbeli elkülönítés is éppen 70 másodperc. Mivel az elkülönítés a pályaküszöbre vonatkoztatva van előírva, ha az első légi jármű 70 másodperc alatt nem tudja elhagyni a pályát, akkor a második érkező már átrepülte a küszöböt és lényegében leszállt, így futópályasértés történt. Ha tehát a repülőtéri irányító azt látja, hogy az első érkező nem hagyja el a pályát J4 gurulóúton, akkor a 70 másodperc már biztos nem lesz elég a pálya végén való elhagyásra, viszont a következő érkező ebben a helyzetben már nem biztos, hogy utasítható a megközelítés megszakítására (3. ábra).



3. ábra

A feladat tehát nem pusztán a várható gurulóút becslése, hanem egy „safety tool” megalkotása is. Utóbbi célja annak a valószínűségnek a számítása, hogy a leszálló, futópályán fékező légi-jármű a várt gurulóúton elhagyja a pályát. Ez az eszköz a tervek szerint már akkor figyelmeztetné a repülőtéri irányítót a második érkező átstartoltatásának szükségességéről, amikor egyrészt még „szemmel” nem egyértelműen megítélhető a forgalmi helyzet, másrészt a soron következő légi-jármű nem repülte át a megszakított megközelítés kiadásának legkésőbbi pontját.

A fejlesztés abban az esetben is használható, ha a gurulóutak becslését, és az ebből következő alternatív térközértékek használatát egyelőre nem vezetik be. A légiforgalmi irányító akkor engedélyezheti a leszállást, amennyiben „kellő biztosíték van arra, hogy amikor a légi-jármű keresztezi a futópálya küszöbét a 7.9.1 vagy a 7.10 pontban előírt elkülönítés fenn fog állni...”. A jogszabály<sup>7</sup> 7.9.1 pontja pedig kimondja, hogy a „végső megközelítés során általában nem engedélyezhető, hogy a légi jármű keresztezze a futópálya küszöbét mindaddig, amíg az előtte elindult légi jármű át nem repülte a használatos futópálya végét, vagy fordulóba nem kezdett, vagy amíg az összes előtte leszállt légi jármű szabaddá nem tette a használatos futópályát”. Tehát az irányítónak nem egy objektív helyzetet kell kiértékelni, hanem meg kell ítélni, hogy adott helyzet fenn fog-e állni a jövőben. Mivel erre nincs semmilyen támpont a tapasztalatok kívül, a konzervatív, biztonság irányába történő hibázás adott esetben felesleges átstartoláshoz vezethet. Ha egy algoritmus számolja az időben való pályaelhagyás esélyét, az kétesélyes helyzetben a leszállási engedély kiadása körüli dilemmákat is segítene megoldani.

Mivel az ANSP-k rengeteg adattal rendelkeznek mind a végső megközelítésen való működésről (radar) mind pedig a földi manőverekről (ASMGCS<sup>8</sup>), a fejlesztési javaslat megvalósításához érdemes ezekhez az adatokhoz fordulni. A légiforgalmi irányító a tapasztalatát tudja hasznosítani a már említett, leszállási engedély kiadásához szükséges helyzetmegítélésben. Ebből következően érdemes lenne valahogy összesíteni a tapasztalatokat. Egy légiforgalmi irányító az összes leszállás töredékével szembesül, ami a tapasztalatát tudja gyarapítani. Ha minden létező légi-jármű manőverből szeretnénk egy tapasztalati adatbázist építeni a hatékonyabb munkavégzés elősegítésére, akkor a gépi tanulás (machine learning) területhez kell fordulni.

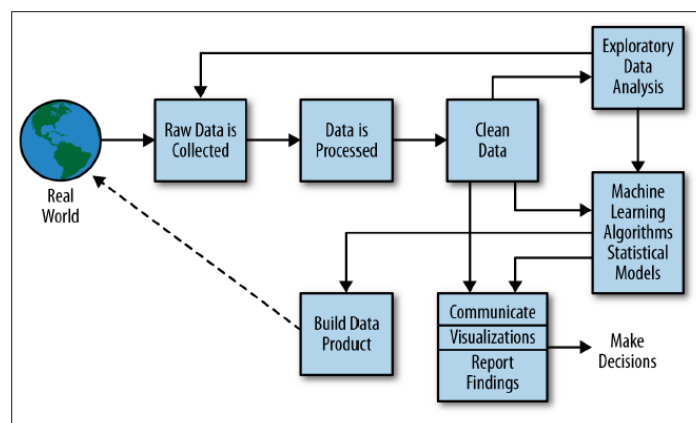
## GÉPI TANULÁS

A data science általánosságban egy üzleti probléma adatokra való lefordítását, adatok gyűjtését, feldolgozását, tisztítását és formázását jelenti [13], amelyben a gépi tanulás szerepe sokszor elsikkad. Ahhoz, hogy data science-ről beszélhessünk, az adatbázisban tárolt adatok használatán túl szükséges adat termékek létrehozása is [14]. Ehhez viszont az adatokkal modelleket kell építeni, hogy megérthessük az adatok által reprezentált világot, aminek egyik módja a gépi tanulási algoritmusok használata.

---

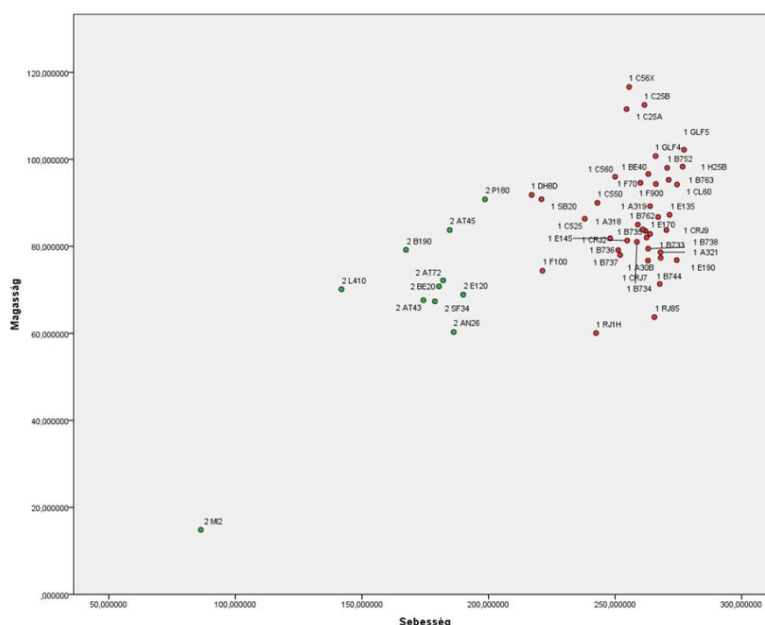
<sup>7</sup> A légiforgalom irányításának szabályairól 16/2000. (XI. 22.) KöViM rendelet

<sup>8</sup> Advanced Surface Movement Guidance and Control System - Kiterjesztett földi mozgást felderítő és ellenőrző rendszer



4. ábra Data science workflow [15]

A gépi tanulási algoritmusokat többnyire előrejelzésre, osztályozásra és klaszterezésre használják [15], valamint két alapvető csoportba sorolhatjuk őket: felügyelt és felügyelet nélküli tanulás [15]. Utóbbira jó példa a HungaroControl ATS<sup>9</sup> kézikönyvének felülvizsgálatakor alkalmazott légi-jármű kategorizálás sebesség és emelkedési mérték alapján. Az induló légijárművek elkülönítéséhez két értéket használnak a TWR<sup>10</sup> légiforgalmi irányítók, 5NM valamint 7NM. Az előbbire példa a jet majd légcसारos géppár, az utóbbira pedig a fordított eset. Az irányítói tapasztalat szerint bizonyos gyorsabb turboprop típus esetén az előírt minimumnál nagyobb térközt érdemes tartani. Így felmerül a kérdés, hogy a hajtómű alapján való megkülönböztetéssel az elkülönítési értékek megfelelően szavatolják-e az elvárt repülésbiztonsági szintet. A légijármű típusok említett paraméterek alapján való két klaszterbe sorolása hozzávetőlegesen a jet-turboprop kategóriákat adta vissza, két fontos kivétellel. A DH8D és SB20 turboprop típusok a jellemzői alapján inkább a jet-ekhez sorolandók.



5. ábra Légijármű típusok klaszterezése

<sup>9</sup> Air Traffic Services – Légiforgalmi szolgálatok

<sup>10</sup> Aerodrome control tower – Repülőtéri irányító torony

Tehát a felügyelet nélküli tanulás oly módon végez például csoportosítást, hogy nem adunk meg az algoritmus számára jó válaszokat, rábízunk az algoritmusra, hogy a rejtett mintákat magától felfedje.

Felügyelet nélküli tanulási módszerek a teljesség igénye nélkül:

- K-közép módszer (k-means clustering);
- hierarchikus klaszterezés (hierarchical clustering);
- nem negatív mátrix faktorizáció (non-negative matrix factorization);
- független komponens analízis (principal component analysis).

Mivel a célváltozó (futópályaelhagyás helye, futópályaelhagyási idő) a tanulóhalmazban ismert, alkalmazhatunk felügyelt tanulást a fejlesztési javaslat megvalósításához.

Felügyelt tanulási módszerek:

- neurális hálózat;
- döntési fa (decision tree);
- naive bayes;
- kNN (k nearest neighbours).

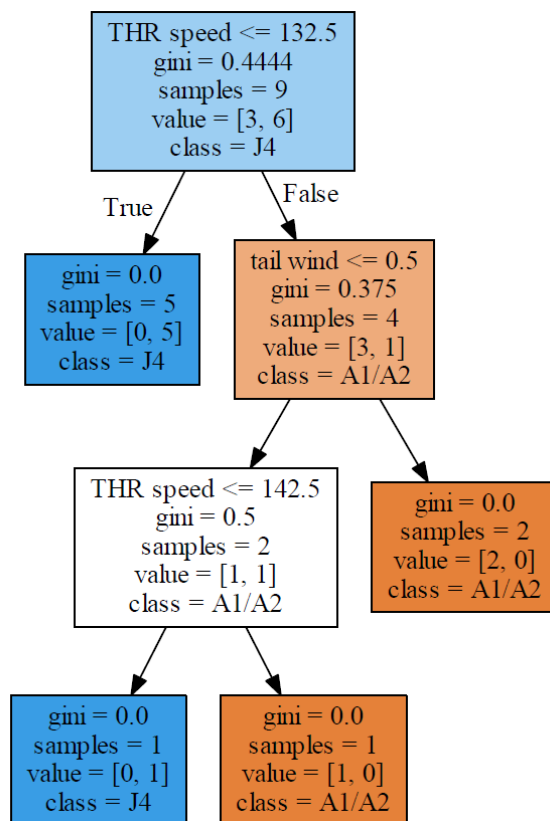
## ALGORITMUSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

### *Neurális hálózat*

Az első megoldási lehetőség a neurális hálózatok alkalmazása. Mivel a kifejlesztendő eszköz egyfajta „safety net”-ként üzemelne, ezért előnyös egy megoldásnál, ha a működési modell könnyen interpretálható. Ennek célja kettős. Egyrészt az eszköz használatbavételéhez szükséges repülésbiztonsági dokumentációban annál könnyebb bizonyítani az új működési környezet repülésbiztonsági megfelelőségét, minél inkább átlátható maga a működési mechanizmus. Továbbá nem szabad elfelejteni, hogy az eszközt emberek használnák, így nekik bízniuk kell a módszer helyességében. Mivel a neurális hálózatokban az egyes neuronokhoz tartozó súlyváltozók konkrét jelentése még egy egyszerűbb hálózatban is bizonytalan, ezért ebben a problémában a használata nem szerencsés, csak ha nagyságrendileg ad pontosabb eredményt a többi algoritmusnál.

### *Döntési fa*

A könnyen interpretálhatóság követelményének való megfeleléshez a kézenfekvő megoldás a döntési fa használata. A CART (Classification and Regression Tree) algoritmus átnézi az összes, modellben használatos változót, rekurzív módon, lépésről lépésre megkeresi azt a paramétert, amely a klasszifikáció szempontjából legjobban meghatározzák az eredményt, és az alapján felosztja az adatokat [17]. Ennek az algoritmusnak az eredménye egy olyan, fa reprezentációba megjeleníthető ha-egyébként (if-else) rendszer, amely könnyen áttekinthető, és egy megfigyelt paraméterlistával könnyen és gyorsan lefuttatható. Például a fa tanítása után előálló potenciális megoldás J4-on való pályaelhagyásra fiktív adatok felhasználásával:



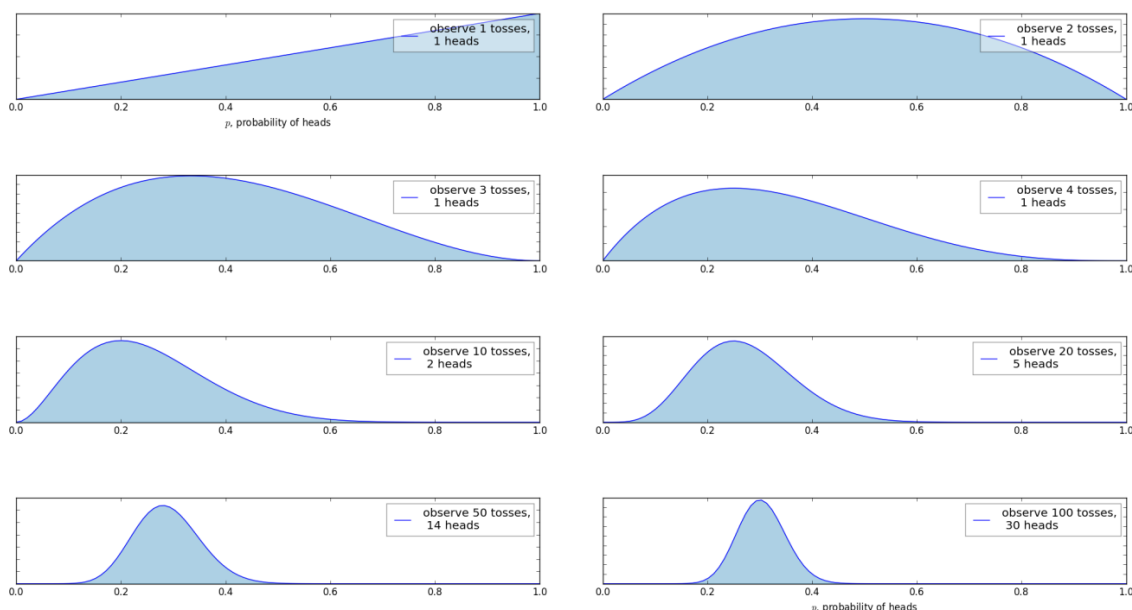
6. ábra Fiktív döntési fa J4 vagy pályavégi (A1/A2) elhagyásra

A döntési fa eredménye egy igen-nem válasz a pályaelhagyást illetően. A modell működésének jósági foka, a helyes válasz valószínűsége csak globálisan értelmezhető, és a tesztalmazon való futtatás eredménye. Arról nincs információ, hogy egy konkrét esetben mekkora az esélye a helyes outputnak. Ez azonban alááshatja a rendszerbe vetett bizalmat az felhasználónál, hiszen mi történik, ha az átlagostól nagymértékben eltérő működést figyel meg (például túl sokáig tart a kilebegtetés). A döntési fán alapuló rendszer egy adott megbízhatósággal üzemel, amely az átlagos eseteken alapul, mint ahogy a légiforgalmi irányító tapasztalata is. Tehát pont akkor nem biztos, hogy tud segíteni, amikor kellene.

### Naive Bayes

Egy leszálló légi jármű paramétereit illetve azok változásait megfigyelve az irányító a tapasztalatát használva egy adott pontossággal meg tudja ítélni egy helyzet bekövetkeztének esélyét, és az alapján döntést hoz. A matematika nyelvére lefordítva ez azt jelenti, hogy az irányító egy esemény bekövetkeztének előzetes (a priori) valószínűségét a megfigyelt adatok ismeretében felülvizsgálja, és kialakítja magában a megfigyelés utáni (posteriori) valószínűséget.

Mekkora egy érme feldobásánál a fej esélye? Az a priori, tapasztalati esély alapján 50%-ot vár-nánk, de ezt módosíthatják egy kísérlet eredményei. Ahogy egyre többször figyeljük meg az érme feldobásának eredményét, úgy egyre pontosabb posteriori valószínűségeket kapunk (7. ábra).



7. ábra Bayes-i statisztika alkalmazása egy érme feldobása során a „fej” valószínűségének becslésére, [18] alapján

A jelen problémára vonatkozó leegyszerűsített modellben például a következő gondolatmenettel élhetünk:

A 13R futópálya küszöbét 120 csomónál lassabban átrepülő érkezők hány százaléka hagyja el a pályát J4 gurulóúton? Mekkora a valószínűsége ezek után a J4-on való elhagyásnak, ha egy légi jármű 120 csomónál lassabban repüli át a küszöböt?

$$P(J4|paraméter) = \frac{P(paraméter|J4) * P(J4)}{P(paraméter)}$$

Természetesen a valóságban a küszöb átrepülésén kívül még számos más paramétert figyelembe kell venni, de az alaplogika ugyanez. Ennek a megoldásnak mind a működése, mind pedig az eredménye könnyen értelmezhető, hiszen az egy adott helyzetre vonatkozó valószínűség. Ez utóbbi abból a szempontból is nagyon fontos, hogy amikor az eszköz azt tanácsolja, hogy a leszállási engedélyt ki lehet adni a soron következő érkezőnek, mert a pályaelhagyás a várt helyen meg fog történni, akkor az irányító nem csak az algoritmus átlagos pontosságát ismeri, de az adott helyzetre vonatkoztatva is kap egy becslést (pl.: J4=99% A1/A2=1%).

A módszer nevében szereplő naív jelző annak köszönhető, hogy ennek a módszernek az alapváltozatában feltételezzük, hogy a különböző paraméterek egymástól függetlenek, így a Bayes-tételben a különböző paraméterhez tartozó tagokat egyszerűen össze lehet szorozni. Ha a modellünkben a leszállás utáni sebességek alakulását kívánjuk (többek között) figyelembe venni, és azokat például tizedmérőföldönként mérni, akkor a függetlenség feltétele már nem áll fenn.

## kNN

Ha a már említett módon a sebességek alakulását tekintjük elsődleges információforrásnak, akkor mondhatjuk, hogy ha egy fajta lassulási görbével rendelkező járat képes a J4-on való pályaelhagyásra, akkor az ahhoz hasonló sebességparaméterekkel rendelkező másik érkező is valószínűleg képes lesz. „Ha magát a működési koncepciót nehéz megfogalmazni, de ha látjuk a

paramétereket, akkor egyértelmű mire gondolunk, a  $k$  számú legközelebbi szomszéd módszert érdemes használni” [19].

A küszöbátrepülés utáni sebességek adott távolságonként való mérési eredményéből képezhető egy vektor. Ezen vektorok között értelmezhető például az euklideszi távolság. A klasszifikáció pedig a konkrét eset (landoló légijármű) megfigyelt paramétereiből (sebesség) előálló vektor  $k$  számú legközelebbi, tanulóhalmazban lévő szomszédjai által meghatározott érték. Tehát ha például  $k=10$  esetén 8 légijármű elhagyta J4-on a pályát, 2 pedig nem, akkor az eredmény a J4-on való pályaelhagyás. A módszer a hasonlóságon alapul, ami miatt az működés értelmezése nem annyira magától értetődő, mint például a döntési fánál, de jobb, mint a neurális hálózatoknál. A kNN algoritmus képes egy valószínűséget is, mint eredményt megadni, így a naive bayes módszerhez hasonlóan az eredmény maga jól használható az operatív munkavégzés során.

Fontos az algoritmus paraméterezése. Mennyi legyen a  $k$  értéke? Milyen egyéb paramétereket vegyen még figyelembe és milyen súllyal? Ezen kérdések megválaszolásához használható többek között a genetikus algoritmus, amit a szerző légiforgalmi eljárásstervezési probléma megoldásához is felhasznált már [20]. A használandó értékek súlyai és a  $k$  változó a gének, a maximalizálandó függvény pedig az osztályozó algoritmus helyes válaszainak aránya a teszt halmazon.

### *Konklúzió, kutatás folytatása*

A feladat tehát adott. A data science munkafolyamat kezdeti lépései (adatgyűjtés, nyers adatok konvertálása, adattisztítás, az adatokkal való ismerkedés, alapvető összefüggések vizsgálata) megtörténtek. A cikkben a szerző áttekintette a feladat megoldásához potenciálisan felhasználható algoritmusokat azok előnyeivel és hátrányaival. A feladat következő része a különböző algoritmusok optimalizálása, illetve azok eredményeinek összevetése a végleges megoldás kialakításához. Amennyiben sikerül megfelelő pontosságot elérni a becslésben, akkor a következő lépés az eszköz HMI-jének (human machine interface) kialakítása. A megfelelő pontosság, mint mérőszám kialakításához további adatfeldolgozás szükséges a légiforgalmi irányítói állománynak a feladat tekintetében meglévő becslési pontosságának feltérképezéséhez.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] European ATM Master Plan, Edition 2, October 2012, pp. 19.
- [2] Alan R. Groskreutz, Pablo Muñoz Domínguez: Required Surveillance Performance for reduced minimal-pair arrival separations. Eleventh USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2015)
- [3] Eurocontrol, Future airport operations (online), url:<http://www.eurocontrol.int/articles/recat-eu> (2015.11.19)
- [4] Eurocontrol, Future airport operations (online), url:<http://www.eurocontrol.int/articles/pair-wise-separations-pws-recat-2> (2015.11.19)
- [5] eATM Portal, European ATM Master Plan, Wake Vortex separations based on Dynamic Aircraft Characteristics (online), url:<https://www.atmmasterplan.eu/oisteps/AO-0307> (2015.11.19) Charles Morris, John Peters, Peter Choroba: Validation of the Time Based Separation concept at London Heathrow Airport. Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2013)
- [6] Gerben van Baren, Catherine Chalon-Morgan, Vincent Treve: The current practice of separation delivery at major European airports, Eleventh USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2015)
- [7] eATM Portal, European ATM Master Plan, Optimised braking to vacate at a pre-selected runway exit coordinated with Ground ATC by voice (online), url:<https://www.atmmasterplan.eu/oisteps/AO-0702> (2015.11.19)

- [8] eATM Portal, European ATM Master Plan, Predicted and reduced Runway Occupancy Time (ROT) using aircraft performance (online), url:<https://www.atmmasterplan.eu/oisteps/AO-0704> (2015.11.19)
- [9] R. Geister, T. Dautermann, V. Mollwitz, C. Hanses, and H. Becker: 3D-Precision Curved Approaches:
- [10] A Cockpit View on ATM, Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2013)
- [11] ICAO Doc 9905, Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual, First Edition – 2009
- [12] Madácsi Richárd, Baráth Márta, Dr. Sándor Zsolt, PhD.: Az érkező légitrafalom folyamatos süllyedéssel végzett megközelítését biztosító irányítói támogatóeszköz koncepciója, Közlekedéstudományi Szemle
- [13] Joel Grus: Data Science from Scratch, First principles with python, O'Reilly Media 2015
- [14] Mike Loukides: What is Data Science? The future belongs to the companies and people that turn data into products, O'Reilly Media
- [15] Rachel Schutt, Cathy O'Neil: Doing Data Science, Straight talk from the frontline, O'Reilly Media 2014
- [16] Jason Bell: Machine Learning, Hands-on for developers and technical professionals, John Wiley & Sons, Inc. 2015
- [17] Toby Segaran: Programming Collective Intelligence, O'Reilly Media 2007
- [18] Cam Davidson-Pilon: Probabilistic Programming & Bayesian Methods for Hackers, <http://camdavidsonpilon.github.io/Probabilistic-Programming-and-Bayesian-Methods-for-Hackers/>
- [19] Brett Lantz: MACHINE Learning with R, Second Edition, Packt Publishing, 2015
- [20] Baráth Márta, Madácsi Richárd: MSA optimalizálás genetikus algoritmussal, IFFK 2014

---

#### USING DATA SCIENCE TECHNIQUES TO IMPROVE RUNWAY THROUGHPUT

*Improving runway efficiency is a major goal of SESAR. There are a couple of potential solutions to reduce the necessary spacing between arrivals on final approach, which can lead to runway throughput improvement provided that other safety measures are still in force. In order to achieve this, data science can be used as well in general and machine learning algorithms in particular. The aim is to estimate the taxiway where the landing aircraft is going to vacate the runway so that the runway occupancy times associated with that taxiway could be used upon which separation minima is based. It is also important to estimate the probability of vacating the runway via the previously estimated taxiway to enable mitigation measures to work efficiently and in a timely manner to handle risk resulting from the reduction of spacing.*

**Keywords:** data science, machine learning, runway efficiency, safety

---



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015\\_3/2015-3-12-0230\\_Madacsi\\_Richard.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-12-0230_Madacsi_Richard.pdf)