

Fehér Balázs<sup>1</sup> – Dr. Bakó András<sup>2</sup>

## LÉGIFORGALMI INDULÁSI ELJÁRÁSOK OPTIMALIZÁLÁSA<sup>3</sup>

*Kutatásaim során az ún. tanuló algoritmusokkal végzett eljárás – optimalizálással foglalkozom. Ez azt jelenti, hogy egy adott módon legenerálunk megfelelően nagy eljárás-sokaságot, majd bizonyos szempontok alapján változtatunk rajtuk úgy, hogy az alapvető tulajdonságaik (elsősorban akadálymentesség) ne sérüljenek. Ha valamilyen szempontból jobb, mint az előző generációs, vagy kiindulási eljárás, akkor megtartjuk, ha rosszabb, elvetjük. Így az algoritmus egy folyamatos (ön-)fejlesztéssel teheti jobbá a meglévő eljárásokat.*

### AIR TRAFFIC DEPARTURE PROCEDURES OPTIMIZATION

*My research objectives (for my PhD studies) are the „self-developing” algorithms, and their usage for optimizing instrument procedures. Therefore we generate a sufficient number of procedures, and we change the parameters by different objectives (respecting the basic fundamentals e.g. obstacle clearance). If the generated next generation is better than the previous, we hold them for further developing, if worse, we „throw it out”. So the algorithm could develop the procedures with a continuous (self-) development.*

## BEVEZETÉS

A légiforgalmi eljárások tervezése nagyon sokrétű feladat, és nehezen automatizálható. Problémát jelent, hogy a légi járművek nem csak síkban mozognak, így nem csak a vízszintes, de a megfelelő függőleges elkülönítést is biztosítani kell. Számításba kell venni a tereptárgyaktól való megfelelő távolság biztosítását is. – A balesetek elég nagy hányada esik az ún. CFIT kategóriába, ami a Controlled Flight Into Terrain, azaz irányított földnek ütközést jelent. Ekkor a repülőgép teljesen kormányozható, és a balesetet a személyzet idézi elő, a légi jármű nem szándékos földnek vezetésével. Ennek egy része a téves helyzetfelismerés (ld. térbeli dezorientáció), másik kisebb része pedig a nem megfelelő eljárásból adódhat. A jelenlegi légi forgalom folyamatosságát is nehéz biztosítani, a fő szabály, hogy a biztonságos elkülönítést (a légi járművek egymástól és a földtől való elkülönítését) minden esetben biztosítani kell, minden más szempont (kapacitásmentés, környezetvédelem, zajvédelem) csak ez után következik.

Mindazonáltal a repülőterek versenyképességének egyik jelzője az is lehet a közeljövőben, hogy mennyire könnyű az adott reptérre érkezni, és indulni. Milyen gyakran lehet várakoztatásra (holding) számítani, mennyi résidőt (azaz slotot) lehet kiosztani. (A várakoztatás extra üzemanyag-felhasználással jár (mind az indulás, mind az érkezés esetén), ezt a repülés előkészítés és tervezés folyamán számításba kell venni, így kell üzemanyagot vételezni.

<sup>1</sup> hallgató, Széchenyi István Egyetem – Győr Közlekedési Tanszék, feherb@sze.hu

<sup>2</sup> egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem – Győr Közlekedési Tanszék, bakoa@sze.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



## Pár szóban a területi navigációról

Hogy megértsük a téma további kifejtését, pár szóban szeretném ismertetni a hagyományos és az úgynevezett területi navigációs (azaz area navigation, vagy RNAV) módszerek közötti különbségeket. A hagyományos rádió navigáció úgy történik, hogy egy navigációs adótól a másikig haladunk, tehát egy útvonalat kizárólag két adó között tudunk kijelölni.

A területi navigáció pedig lehetővé teszi, hogy a repülőgéppel kielégítő pontossággal navigáljunk anélkül, hogy közvetlenül a földi telepítésű berendezés irányába, vagy irányából repülénk. Tehát egy olyan navigációs módszerről van szó, ami lehetővé teszi a repülési útvonal lényegében bárhol történő elhelyezését. A vízszintes síkban végzett navigációt lehetővé tevő RNAV rendszert LNAV-nak, azaz lateral navigation-nak nevezzük, a függőleges síkban való navigációt lehetővé tevőt pedig vertical navigation-nak, azaz VNAV-nak. Az RNAV-ot évekig az óceáni területeken alkalmazták, és olyan vidékeken, ahol megfelelő rádió navigációs lefedettség nem állt rendelkezésre. Mostanában olyan helyeken is előtérbe kerül, ahol nagysága meghaladja a hagyományos navigációs rendszerek útvonal kapacitását. Ez a Basic RNAV, azaz B-RNAV. Ez az RNP-5-ös navigációs pontosságnak felel meg.

Az RNAV-ot a közelkörzetben használják érkezési, indulási eljárások esetén, valamint a nem precíziós (NPA) műszeres megközelítési eljárásoknál is.

Az RNAV IAP különféle műszeres megközelítési módokat jelöl:

Az RNAV megközelítési eljárások, amelyeket a hagyományos megközelítési eljárások kiváltására terveztek, ugyanúgy a földi telepítésű rádióadókra vannak alapozva, mint a hagyományosak.

- Kizárólagos RNAV megközelítés, ami nincs RNP értékkel társítva.
- Kizárólagos RNAV megközelítés, ami GPS pontosságot követel meg, ezt néha GPS (kizárólagos) megközelítésnek is hívják.
- RNAV megközelítés, hozzárendelt RNP értékkel, GPS-el vagy a nélkül.

RNAV megközelítéshez, a repülőgép RNAV berendezéssel kell, hogy felszerelt legyen, ami az „A” teljesítményszintű repülőgépeken az FMS.

A navigációs adatok többféle berendezéstől származhatnak:

- DME-DME (tehát két DME által);
- VOR-DME (62 NM-es VOR hatósugárral);
- INS (rádió navigációs pozíció-frissítéssel, vagy korlátozva az utolsó földi pozíció-frissítéstől max. 2 órányira);
- LORAN C (korlátozásokkal);
- GPS (korlátozásokkal).

Az ECAC légterekben az elsődleges források a VOR-DME, a DME-DME és a GPS.

Hozzá kell még tenni, hogy az ICAO jelenleg igyekszik szabványosítani a navigációs pontosságot, ez az úgynevezett PBN, azaz performance based navigation. Ennek célja, hogy egységes legyenek az RNAV és RNP tulajdonságok, és elejét vegye a teljesen különböző navigációs szabványok globális elterjedésének.

Európában a B-RNAV-ot kötelezővé tették 1998-ban, így az európai útvonalhálózat sokkal rugalmasabb lett, a zsúfolt európai légtérben így akadt valamennyi tartalék. Egyes helyeken a P-RNAV is be van vezetve, azaz a precíziós RNAV, ami a repülési idő 95%-ában  $\pm 1$  NM eltérést enged meg a kijelölt útvonaltól.

Az RNAV megközelítéseknel a területi navigáció csak a minimális biztonságos magasságig használható, az alatt csak a hagyományos úton történő navigáció megengedett.

A részletes követelményeket a különféle RNAV navigációs eljárások (GNSS, DME/DME, VOR/DME) pontossági követelményeiről a doc. 8168 3-as fejezete tartalmazza.

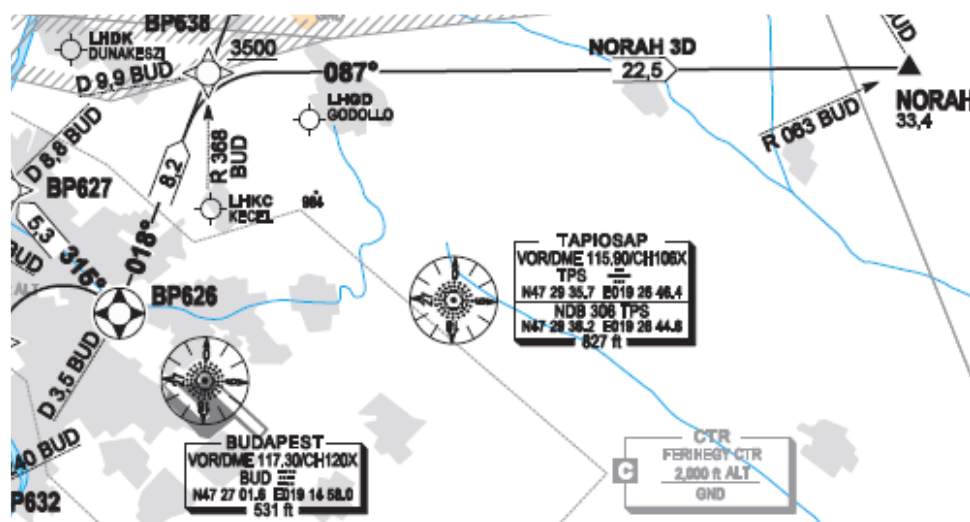
## A légiforgalmi eljárások felépítésének ismertetése

Hogy a téma további részleteit megismerjük, feltétlenül szükséges pár szót ejteni a légiforgalmi eljárásokról. Mivel a közforgalmi repülésnek olyankor is mennie kell, amikor a legtöbb „mezei” magánpilóta szakszolgálati engedéllyel rendelkező ki sem nyitja a hangárajtót, sőt a fel és leszállások egy része az egyszerű műszeres jogosításhoz képest is alacsonyabb időjárési minimumok mellett történik.

Tehát a repülések nagy része IFR (Instrument Flight Rules – műszerrepülési szabályok) szerint történik, így az eljárásokat is műszerrepülésre építik fel. Az eljárások típusában megkülönböztünk indulási és érkezési eljárásokat. Jelen cikkben (terjedelmi korlátok miatt) az indulási eljárások ismertetését végezzük. (Valamint az okból is, mert az érkezési eljárásokat más módon érdemes optimalizálni, azonban ez további kutatásokat igényel)

## Indulási eljárások

Vizsgáljunk meg egy adott indulási eljárást a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre (Ferihegy) ! Legyen az adott indulási eljárás, a NORAH 3D indulási eljárás.



1. ábra A NORAH 3D indulási eljárás [5]

A SID 3,5 mérföldre kezdődik a BUD VOR-tól, a BP626-os útvonalpontonál. Ez az eljárás kiindulópontja. 018°-ra fordulván, a track folytatódik a BP638 pontig. Ez a pont 9,9 NM-re van a BUD VOR-tól, a 356-os radiálon. BP638-nál a track 087°-ra fordul, amíg el nem éri a



NORAH pontot, ami 33,4 mérföldre van a BUD VOR-tól, a 063-as radiálón.

Tehát egy hagyományos indulási eljárás a SID, azaz Standard Instrument Departure – azaz szabványos műszeres indulási eljárás, amit lényegében a felszállástól a TMA-ból történő kilépőpont eléréséig tart.

Az indulási eljárásokkal szemben támasztott főbb jellemzők és követelmények [2] és [3] szerint:

- Általánosságban, az indulási eljárás azért van, hogy megfelelő akadálymentességet adjon, közvetlenül a felszállás után, amíg a repülőgép el nem ér egy útvonali szegmenst. Az indulási eljárások tartalmazzák, de nem kizárólagosan a szabványos indulási útvonalakat, és a kapcsolódó eljárásokat (az Annex 11, 3-as függeléke alapján).
- Az indulási eljárást légiforgalmi irányítás céljából, légtér menedzsment céljából, vagy egyéb okokból (például zajcsökkentés) követelik meg, és az indulási útvonalat nem kizárólag az akadálymentességi követelmények szabják meg.
- A doc. 8168 szerint az indulási eljárásokat az üzemeltetők, az ATC, és egyéb résztvevők folyamatos konzultációjával kell fejleszteni.
- Gazdaságosság: minden kísérletnek, amit a gazdaságosság érdekében tesznek, hogy minimalizálva legyen az indulási eljárás végrehajtási ideje, és az igénybe vett légtér mérete, arra kell irányulnia, hogy a tervezett eljárások össze legyenek egyeztetve a biztonsági követelményekkel.
- Az indulási eljárásokat vagy megadott útvonalakként, vagy irányítatlan indulási eljárásként (ld. doc. 8168, első rész, harmadik szakasz, negyedik fejezet – „Omnidirectional departures”) publikálják.
- A fordulókhöz hozzárendelt akadálymentességi területek tervezésekor a doc. 8168 2. szakaszának 3. fejezetét „Forduló-területek felépítése” célszerű alkalmazni. A rádió navigációs adók karakterisztikája, és a fixek tűrései a doc 8168 2. szakaszának 2. fejezetében találhatóak.

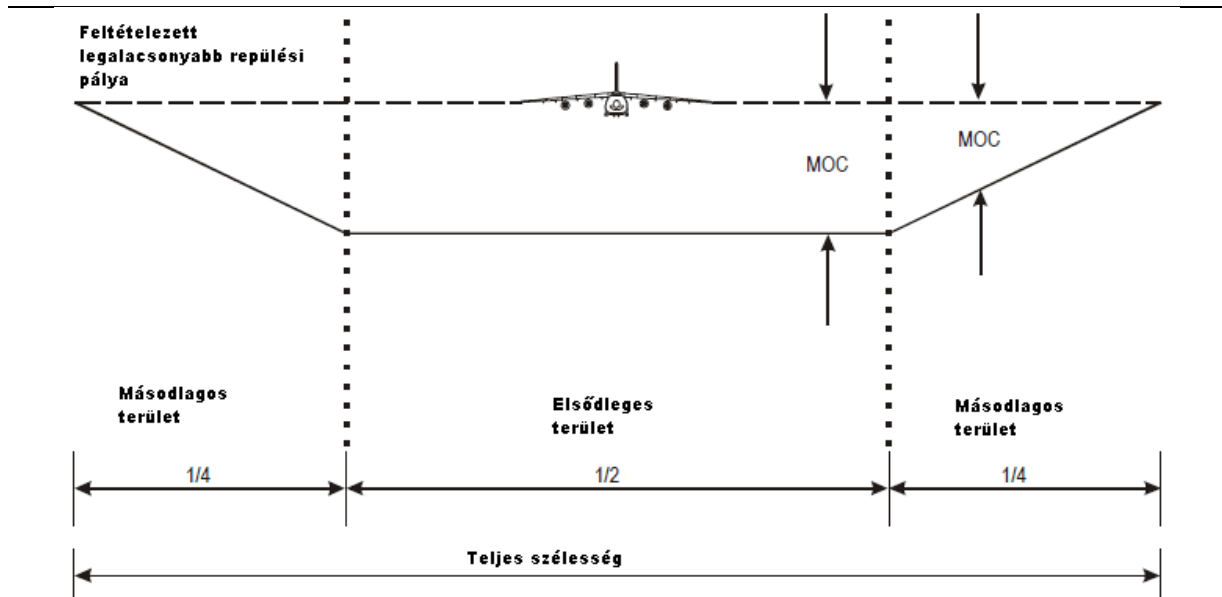
Természetesen mindez, ami fel van sorolva, nem szentírás, hiszen az ICAO PANS betartása nem kötelező, de célszerű, hogy a világon bármely repülőterre elkészített eljárások a világ bármely részéből érkező-induló hajózószemélyzetének ugyanazt jelentsék.

Ideális esetben egy SID geometriailag úgy néz ki, hogy a légijármű felszállás után direktben haladjon a kilépőpont irányába, illetve legfeljebb egy töréspont lehet a nyomvonalban, ahol fordulót kell végezni. Az első waypointnak pedig 3-5 NM körül kell lennie, a pályaküszöbtől mérve, illetve a kilépőpont felé vezető fordulót is tekinthetjük annak, ekkor a fordulót 3-5 NM-re kell a pályaküszöbtől elhelyezni.

### **Akadálymentesség vizsgálata**

Az akadálymentesség biztosításához a doc 8168 következő oldalon található ábráját célszerű elemezni.

Minden szegmensnek van egy megfelelően hozzárendelt területe, védett légtere, ahogy a fenti ábra is mutatja. Rendszerint a megfelelő track mindkét oldalára szimmetrikus a védett terület. Megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos területeket, azonban sok esetben csak az elsődleges területek használata engedélyezett. Ahol vannak másodlagos védett területek, minden oldal külső része (névlegesen a teljes szélesség 25 százaléka) számít a másodlagos területekhez.



2. ábra Akadálymentességi területek

Egy adott „p” pont másodlagos védett légtereit két fix között lineáris interpolációval (egyenes arányosság) lehet meghatározni, az adott fixek szélességéből az alábbi formula alapján:

$$W_{sp} = W_{s1} + \frac{D_p}{L} (W_{s2} - W_{s1})$$

Ahol:

- $W_{sp}$  – a másodlagos terület szélessége „p” pontnál
- $W_{s1}$  – a másodlagos terület szélessége az első fixnél
- $W_{s2}$  – a másodlagos terület szélessége a második fixnél
- $D_p$  – „p” pontnak az első fixtől mért távolsága a névleges tracken mérve
- $L$  – a két fix távolsága a névleges tracken mérve.

A másodlagos légterek MOC (Minimum Obstacle Clearance) értékét a teljes MOC értékből egyenes arányossággal kapjuk meg, az alábbi formula szerint:

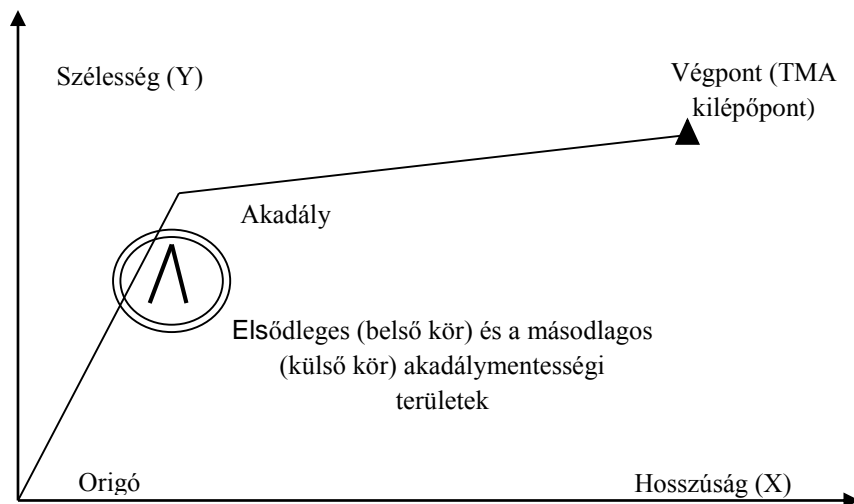
$$MOC_{sy} = MOC_p \cdot \left(1 - \frac{Y}{W_s}\right)$$

ahol

- $MOC_p$  – az elsődleges terület MOC értéke
- $MOC_{sy}$  – a másodlagos terület MOC értéke
- $W_s$  – a másodlagos terület szélessége
- $Y$  – távolság az akadálytól – az elsődleges terület szélére a névleges tracktől bocsátott merőlegessel mérve

Megjegyzés: a doc. 8168-ban található összes számítás és táblázat NEL szerint értendő, 2000 feettel tengerszint felett, és +15°C-os hőmérséklet esetére.

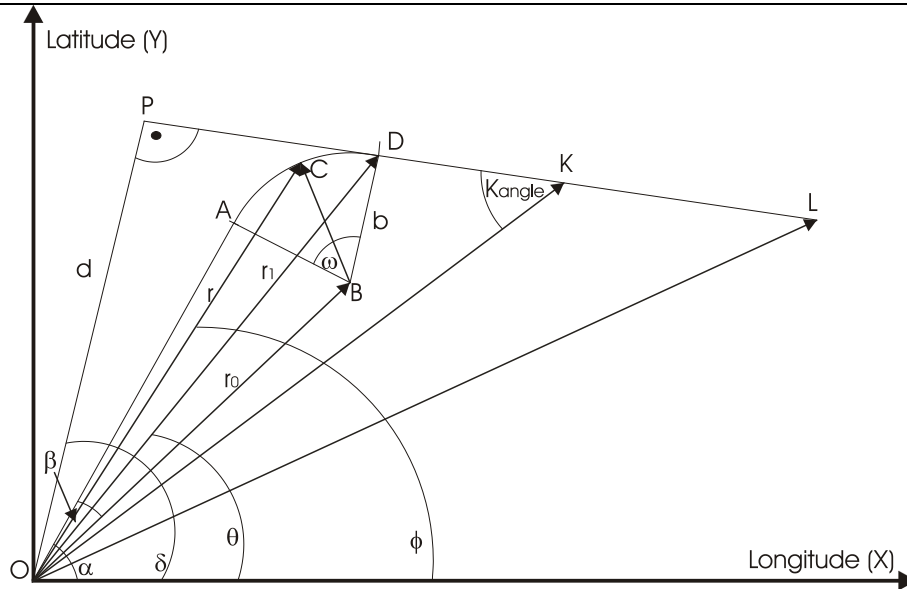
Ha egy algoritmussal generálunk eljárásokat, célszerű az akadálymentességi vizsgálatot „megfordítani”. Tehát az akadály körzetét kell vizsgálni, hogy a generált track „belelóg”-e az elsődleges, ill. másodlagos síkokba. Ha a generált track metszi mindkét kört, az eljárás nem biztonságos. Ha csak két metszéspontunk van (a külső körben) a track a másodlagos területen át halad. Ha ez a helyzet, az eljárás tovább vizsgálható, mivel a másodlagos terület limitei lineárisan csökkennek.



3. ábra A modell egyszerűsítése

### A modell egyszerűsítése

Hogy egyszerűbb legyen, a modellben legyen az első pont az origó, az OA a kezdeti emelkedés szakasza, erre van egy AB merőleges szakasz, ennek hossza legyen  $b$ . Itt van egy töréspont (mivel fordulóról van szó, ezért ív) ennek középpontja  $B(r_0, \beta)$ . Az ív a D pontig tart, utána egy újabb egyenes szakasz jön (a modellben ez a DL szakasz, a NORAH 3D példájában ez a BP638 utáni rész)



3. ábra A modell egyszerűsítése, forrás: [1]

Egy polárkoordinátás rendszerben a kört  $(r, \varphi)$  ismeretében az alábbi formában írhatjuk fel:

$$r^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \alpha) + r_0^2 = a^2, \quad (1)$$

ahol  $r_0$  a középpont első koordinátája  $(\alpha - \beta)$  így  $\alpha - \arctan \frac{b}{a}$  a kör sugara. Így az egyenlet  $B$  középponttal és  $b$  sugárral, ha  $r > a$ ,

$$r^2 - 2r\sqrt{a^2 + b^2} \cos\left(\varphi - \left(\alpha - \arctan \frac{b}{a}\right)\right) + (a^2 + b^2) = b^2 \quad (2)$$

$r_1$  általában  $r_0 + b$ , mivel nem lehet nagyobb a sugárnál:

$$r_1 = r_0 + b (< r_0 + b) \quad (3)$$

Az egyenes szakasznál  $\tan \alpha$ , és  $A$  pont adott. Az  $OBC$  koszinusz tételt alkalmazva, hogy megkapjuk  $r_1$ -et, ami a forduló végpontja:

$$b^2 = r_0^2 + r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta \quad (4)$$

$$r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta + r_0^2 - b^2 = 0 \quad (5)$$

Kör egyenlete, egy érintőre  $\theta = \varphi$  az alábbi  $(r_0; \varphi)$  érintési pontban:

$$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi) \quad (6)$$

Az ív másik pontja  $D(d, \delta)$  sugara pedig  $b$ .

Az origóból merőlegest állítva  $P(r_0, \theta)$  pontban. Összekötjük  $D$  és  $O$  pontokat majd megkapjuk a  $DOP$  derékszögű háromszöget, ahol  $DO = d$  és  $DOP$  szög  $= \delta - \theta$ . Ezért

$$OP = r_0 = d \cdot \cos(\delta - \theta) \quad (7)$$

OPK derékszögű háromszög, ezért  $\theta = \frac{\pi}{2} - K_{szög}$ , ezért

$$K_{szög} = \pi - \alpha. \quad (8)$$

Ezért:

$$\vartheta = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha) = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (9)$$

Amiatt, hogy

$$OP = r_0 = \cos(\delta - \theta),$$

ezért:

$$r_0 = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \quad (10)$$

$\omega$  meghatározása: az ív középpontjában, három szög van, az első az OAB derékszögű háromszögben, az első szög ezért  $= \arctan \frac{a}{b}$ . A második az OBD derékszögű háromszögben. A koszinusz tételt alkalmazva

$$d^2 = b^2 + \left(\sqrt{(a^2 + b^2)}\right)^2 - 2b\sqrt{(a^2 + b^2)}\cos 2, \quad (11)$$

A (10)-es formulát behelyettesítve:

$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi)$  Ahol  $r$  és  $\theta$  a vonal bármely pontjának polárkoordinátái,  $\varphi = \theta$  ezért

$$\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (12)$$

és

$$r_0 = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right). \quad (13)$$

(12) és (13), alkalmazásával számítsuk ki  $r(\theta)$ -t:

$$r(\theta) = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \cdot \sec\left(\vartheta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)$$

### Ívhossz meghatározása

Polárkoordináta rendszerben az „S” ív hosszának meghatározása az alábbival lehetséges[7]:

$$S = \int_a^b \sqrt{\left(\frac{d}{dt}r(t)\right)^2 + r(t)^2} dt \quad (14)$$



A track hossza az alábbi háromból tevődik össze:

Elsőnek kiszámítjuk az egyenest:  $r = \arctan \alpha$  egyenes. Itt a legegyszerűbb módja eldönteni a hosszat, ez legyen  $a$ .

Második rész:

$$r(\theta) = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \sec\left(\theta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right) \quad (15)$$

Az eredmény:  $b \cdot \omega$  mert a sugár  $b$ , a középponti szög  $\omega$ , a kerület  $2b\pi$  osztva  $2\pi$ -vel és beszorozva  $\omega$ -val:

$$\frac{2b\pi}{2\pi} \omega = b\omega. \quad (16)$$

Harmadik rész:

$r(\vartheta) = r_0 \sec(\theta - \varphi)$  megfelel a DL szakasznak, a második egyenesnek..

A teljes ívhossz a három rész összege, tehát  $a + b \cdot \omega + DL$ . Ennek az ívhossznak a minimalizálása szükséges lehet egy eljárás optimalizálásához. De az eljárás nem lehet túl rövid, mert az egyrészt nem adhat megfelelő emelkedést, és növelheti a személyzet terhelését. Pl. egy átlagos „Category A” repülőgép, pl. egy Boeing 737, vagy Airbus 320 esetén az Operation Manual (vagy a QRH, ill. “check-list”) több, mint 30 elemet tartalmaz, amit felszállás után végre kell hajtani. (ld [8] és [9])

Természetesen az akadálymentesség vizsgálata is fontos, ahogy korábban említettük.

## AZ ÖNFEJLESZTŐ ALGORITMUSOK BEMUTATÁSA

Hogy megérthessük a probléma megközelítési módját, ezen fejezetben bemutatom az ún. önfejlesztő algoritmusokat, amelyekkel megoldható az eljárástervezés egy részének automatizálása. A 1990-es évek második felében fejlesztették ki a bakteriális evolúciós algoritmust. Ezen algoritmusnak a működési elvét a természetből a baktériumok evolúciós fejlődésének nyomán alakították ki, lényegében lemodellezve a baktériumok génátadási (géntranszfer) jelenségét. Elsőnek pszeudo-baktériális genetikus algoritmust publikálta

N. E. Nawa, T. Hashiyama, T. Furuhashi, és Y. Uchikawa, mely a genetikus algoritmusokban alkalmazott mutáció helyett az úgynevezett bakteriális mutációt alkalmazza. Később N. E. Nawa és T. Furuhashi által megjelent a bakteriális evolúciós algoritmus, mely a bakteriális mutáción kívül a génátadási (géntranszfer) műveletet is magába foglalja.

### A bakteriális evolúciós algoritmus folyamata a következő

Első lépés: Létrehozunk véletlenszerűen egy Ninduló egyedből álló populációt.

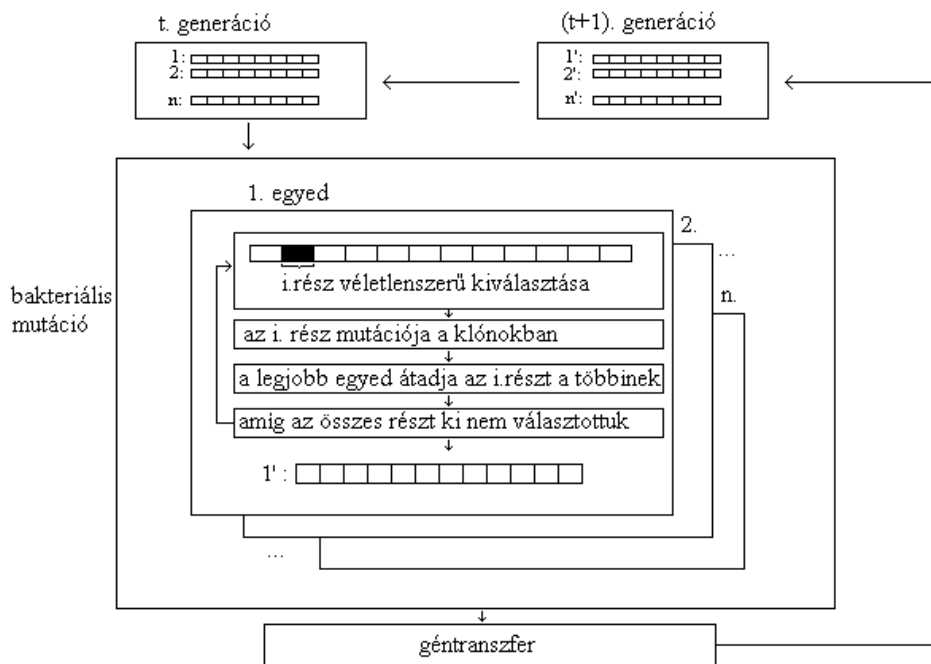
Ez esetünkben azt jelenti, hogy a jelenlegi módszerekkel, akár manuálisan, akár a GeoTitan szoftver segítségével megtervezünk egy eljárást, ami az összes korlátozó feltételnek (amit a doc. 8168 második kötete tartalmaz) megfelel, és valamilyen előre rögzített stratégiát (pl.

RNAV eljárás készítése, zajvédelmi korlátok, kapacitással kapcsolatos követelmények, szárok hossza – ld. az előző részben a kompromisszum a zajvédelem, és az üzemanyag-felhasználás között, stb.) követ, és ezt sokszorosítjuk, “klónozzuk” meghatározott számban.

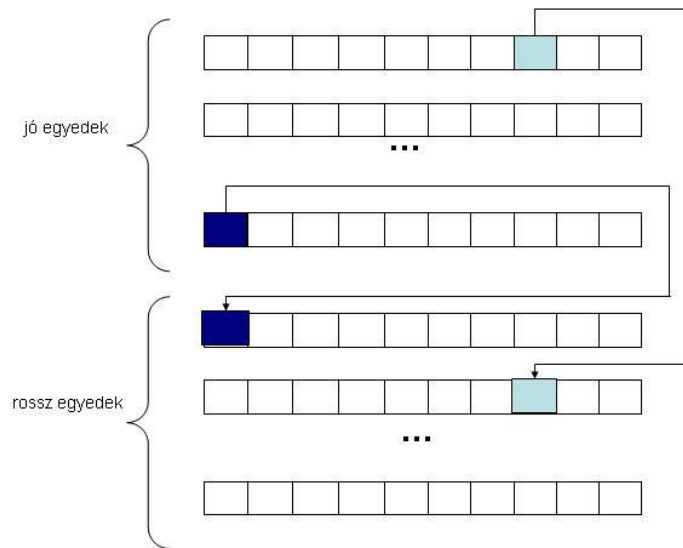
Másodszor, minden egyedre alkalmazzuk az ún. bakteriális mutációt, mely a következőképpen működik:

Az egyedet lemásoljuk  $N_{klónok}$  példányban (ezek a klónok). A kromoszóma egy véletlenszerűen kiválasztott  $i$ . részét megváltoztatjuk a klónokban (mutáció), az eredeti baktériumban viszont nem. Utána kiválasztjuk a legjobb egyedet, és a kromoszómájának az  $i$ . részét átadjuk a többi egyednek. Ez azt jelenti, hogy a többi egyed kromoszómájának  $i$ . részét helyettesítjük a legjobb egyed kromoszómájának  $i$ . részével. Ezt a folyamatot, mely a mutáció-kiértékelés-kiválasztás-behelyettesítés lépéssorozatát jelenti, ismételjük addig, amíg a kromoszómának mindegyik részét (pontosan) egyszer ki nem választottuk. Amikor az egész kromoszómával végeztünk, kiválasztjuk a legjobb egyedet (pontosabban 3 legjobb egyedet), a többi  $N_{klónok}$  egyedet pedig megszüntetjük.

A következő lépésben következik a géntranszfer művelet, ahogy az alábbi ábra mutatja.



4. ábra A vázlatos működés (Dr. Botzheim nyomán)



5. ábra A géntranszfer művelet (Dr. Botzheim nyomán)

Ezután a populációt rendezzük az egyedek jósági értéke szerint, majd felosztjuk két fél populációra. Az egyik alpopulációba a jobb egyedek kerülnek, a másikba pedig a rosszabbak.

Ehhez minden baktérium változatot ki kell értékelnünk. Az értékelés alapja az a kritérium rendszer, amit az első fázisban meghatároztunk. A kiértékelés nem abszolút számokkal történik, hanem az alapján, hogy a megváltoztatott baktérium az eredeti, manuálisan szerkesztett változathoz képest mennyire tér el, pozitív vagy negatív irányban.

A kiértékelés az ár/érték arány alapján történik: azaz mérjük, hogy az egyes változatok a pontozási rendszerben mennyivel jobbak, de azt is, hogy ez az esetleges jobb eredmény mennyivel több ráfordítással, azaz más szárhosszak, gazdaságosabb emelkedési feltételek a SID-eknél, stb. teljesíthető, és ezeket az előre megadott költségmutatókkal összeszorozva megkapjuk a javulás becsült költségvonzatát.

Majd kiválasztunk véletlenszerűen egy egyedet a „jónak” minősített eljárások közül, ez lesz a forrás-baktérium, és egy másikat a „rosszak” közül, ez a cél-baktérium.

Amint ez megtörtént, kiválasztunk véletlenszerűen egy részt a forrás-baktérium kromoszómájából, és átadjuk a cél-baktériumnak. A cél-baktérium ezzel felülírja a kromoszómájának ugyanezen részét.

A géntranszfer lépéseit ismétljük  $N_{inf}$ -szer, ahol  $N_{inf}$  egy paramétere az algoritmusnak, és az „infekciók” számát jelöli.

Ha a populáció megfelelő, vagy elértünk egy maximális generációs számot ( $N_{gen}$ ), akkor az algoritmus megáll, különben folytatjuk a bakteriális mutációtól.

A mi esetünkben egy baktérium egy eljárásnak egy adott változatát jelenti. Így a baktériumok fejlődése tulajdonképpen a megoldásvektor fejlődését jelenti. A baktérium kromoszómájának egy  $i$ . része a megoldásvektor egy koordinátáját jelenti.

Az algoritmus paraméterei:

1.  $N_{gen}$ : a generációk száma
2.  $N_{ind}$ : az egyedek száma
3.  $N_{klónok}$ : klónok száma a bakteriális mutációban
4.  $N_{inf}$ : az infekciók száma a géntranszfernél

Mit kell az algoritmusnak figyelembe venni?

1. az adott szegmens hossza,
2. az adott szegmens szélességi kiterjedése, akadálymenteségi területei
3. az adott szegmens emelkedési/süllyedési gradiense
4. az akadályfelületek esésviszonyai, melyeket az alábbi, meghatározott adatok felhasználásával lehet kalkulálni:
  - 4.1. földi navigációs berendezések pontossága, vagy területi navigációs pontosság,
  - 4.2. fedélzeti navigációs berendezés pontossága,
  - 4.3. repüléstechnikai / időzítési pontosság,
  - 4.4. műszer szerinti sebesség - valós sebesség,
  - 4.5. várhatóan alkalmazott bedöntés,
  - 4.6. az adott repülési szegmens magassága,

1. Várható környezeti adatok (hőmérséklet, szél)

Az első három értéket változtatni is tudjuk az eljárások javítása érdekében, ezeken felül még az alábbi paraméterekkel kell az algoritmusnak foglalkoznia:

- forduló geometria;
- szélspirál: amikor vége egy szegmensnek, és forduló következik, oda szélspirált szerkesztünk.

Fordulókat az indulásnál, megszakított megközelítésnél, ill. a végső megközelítésre fordulásnál (max. 10 fok) alkalmazunk. A forduló geometriai paraméterei:

- magasság;
- műszer szerinti repülési sebesség (IAS);
- várható szél;
- bedöntés;
- repteknikai tűrések.

## ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI MUNKÁK

Azonban nem árt figyelembe venni, hogy a hagyományos bakteriális algoritmus rövid lehet, így célszerű a PSO-t (Particle Swarm Optimization [10]) módszert alkalmazni. A PSO egy adott populációból (amit swarm-nak nevez a szaknyelv), egy adott keresési térben néhány egyszerű formula szerint választja ki a jelölt eljárásokat (amiket particle-knek nevezünk). Annak meghatározása, hogy valóban a PSO célszerűbb, vagy egy bakteriális, esetleg egy többobjektumos (MO) algoritmus, és melyikből lehet jobb eljárásokat kihozni, ez további kutatásokat igényel.



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FEHÉR, BAKÓ and FÖLDESI (2012): Cost and fuel-efficient departure and arrival air traffic procedure design method, 8th Annual International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers, Tomáš Bata University, Zlín, Czech Republic 19th April 2012
- [2] EUROCONTROL – Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation 3rd edition, 2003. marc
- [3] ICAO Doc. 8168 Volume II 5th Edition, ICAO, 2005. június
- [4] Dr. BOTZHEIM János – Intelligens számítástechnikai modellek identifikációja evolúciós és gradiens alapú tanuló algoritmusokkal. – Ph.D. értekezés BME-VIK Távközlési és Médiainformatikai Tanszék Budapest, 2007
- [5] HungaroControl – Hungarian Air Navigation Services: AIP Hungary SID Map LHBP 31 AIRAC AMDT 003/2009 Chapter: AD-2, Page: LHBP- ARR 31R-1.
- [6] KIRCHNER, F.: Optimal unconstrained solution to conflict resolution in 3-d airspace. Manuscript (2001).
- [7] GEORGE B. Thomas, Jr: Thomas' Calculus, 10th edition, Addison Wesley, 2003. Section 8.5, p 432
- [8] Boeing Commercial Airplanes: 737-6Q8/-7Q8/-8Q8 Flight Crew Operations Manual, NP. 21.36-39, pp. 140-143. Revision Number: 14, Revision Date: September 25, 2009.
- [9] Airbus Industrie: A320 family Flight Crew Operating Manual, 3.05-3.06, pp. 162-164. Airbus, 2009.
- [10] PARSOPOULOS, K.; VRAHATIS, M: Particle swarm optimization method in multiobjective problems. Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (2002). pp. 603–607.