

Horváth Zoltán

horvath.zoltan@zmne.hu

A TEREPDOMBORZAT HATÁSA A KIS- ÉS KÖZEPES MAGASSÁGON FELADATOT VÉGREHAJTÓ PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP KOMMUNIKÁCIÓS CSATORNÁJÁNAK STABILITÁSÁRA

Absztrakt

A szerző munkájában bemutatja, hogy miként valósítható meg az UAV és a földi irányító pont közötti kommunikációs csatorna stabilitásának figyelembe vétele a küldetés tervezése és végrehajtása során.

The author's work shows how the communication channel of UAV can be achieved between ground control station and the aircraft to take into account the stability of the mission planning and implementation.

Kulcsszavak: UAV, kommunikáció, stabilitás ~ UAV, communication, stability

Bevezetés

A kis- és közepes magasságú repülést végrehajtó pilóta nélküli repülőgép (továbbiakban: UAV) a földi irányítópontról érkező parancsok alapján hajtja végre feladatát, mérési adatait továbbítja az irányítópontra.

A repülő eszköz és a földi irányító pont között a folyamatos kommunikáció fenntarthatóságának figyelembe vétele a tervezés során túlmutat az optikai átláthatóság vizsgálatán, mivel az összeköttetés – akár ideiglenes – kiesése a repülő eszköz, vagy a mérési adatok elvesztéséhez vezethet.

Napjainkban, a rendelkezésre álló térinformatikai adatbázisok rendelkeznek azzal az információ-tartalommal, mely biztosítja a repülési útvonalak előzetes tervezése során az összeköttetés stabilitás-vizsgálatának lehetőségét.

A térinformatikai adatbázisok – ezen belül a folytonos raszteres digitális domborzat modell – alkalmazásával szeretném bemutatni az ellátottsági- és árnyékdiagramok előállításának lehetőségét, rávilágítani a diagramok alkalmazásának előnyeire a küldetés tervezés során.

1. A rádiócsatorna és a terepdomborzat

A rádiókapcsolat létesítése során számos olyan tényező figyelembe vétele szükséges (terjedési mód, a föld vezetőképessége, a távolság miatt fellépő görbültsége, a domborzat hatása, a talajreflexió hatása, a légkör törésmutatójának változása, a légköri abszorpció, stb.) mely jelentős mértékben befolyásolja a szakaszcillapítást.

Tekintettel arra, hogy alapvetően az összeköttetés az ultrarövid-hullámú, mikrohullámú frekvenciatartományban valósul meg, a rádiócsatorna és a terep kölcsönhatásaként fellépő fading becslésére egy – több terepakadály hatását figyelembe vevő – hullámterjedési modellt alkalmaztam [1.-p51], [2].

1.1. Egy késél okozta fading kétdimenziós modellezése

A rádiócsatorna szabadtéri csillapítása, minden más, terjedést befolyásoló tényezőt figyelmen kívül hagyva a következő, ha az adó- és a vevőantenna veszteségmentes, irányított, főnyalábjukkal egymás felé vannak irányítva, polarizációban illesztettek és egymástól ismert távolságra vannak.

A szabadtéri csillapítás [3.-p578]:

$$a_0 = 20 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) - (G_{a[dB]} + G_{v[dB]}) \quad [dB] \quad \{1\}$$

ahol: a_0 a szabadtéri csillapítás
 d az adóantenna és a vevőantenna távolsága
 λ az alkalmazott hullámhossz
 G_a, G_v az adó- és vevőantenna nyeresége

Az átlátás tisztasága szempontjából első közelítésben az akadályok mindaddig elhanyagolhatóak, amíg az I. Fresnel-zóna szabad. Amennyiben ez nem teljesül, a szakaszcillapítás számítása a következőképp módosul.

A diffrakciós fading:

$$L = 20 \cdot \lg \left| \frac{E}{E_0} \right| \quad [dB] \quad \{2\}$$

ahol: L a diffrakciós fading
 E a fading által csökkentett télerősség
 E_0 a szabadtéri télerősség

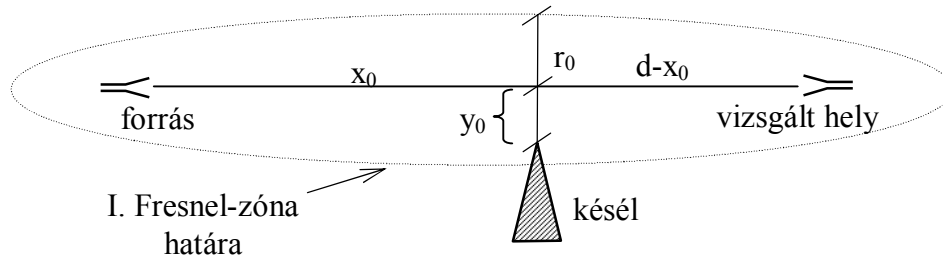
A szakaszcillapítás:

$$a_{sz} = a_0 - L \quad [dB] \quad \{3\}$$

ahol: a_{sz} a szakaszcillapítás
 a_0 a szabadtéri csillapítás
 L az akadály(ok) okozta diffrakciós fading

URH és mikrohullámú frekvenciatartományban a talaj dielektrikumként viselkedik és a késél modellek használatánál azt tételezzük fel, hogy az akadály kiterjedése a terjedés

irányába elhanyagolható. Eltérő alakú akadályokra vonatkozó adatok a fentiekől csak kismértékben térnek el [4.-p430].



1. ábra. A késéldiffráció paramétereit [4.-p431 alapján]

Az 1. ábrán látható a rádiócsatorna vertikális síkmetszete. Igen jó közelítéssel – horizontális terjedést feltételezve – x_0 helyen az I. Fresnel-zóna sugara (1. ábra) és [4.-p431] alapján r_0 . A rádiócsatorna tengelye és a késél csúcsa közötti távolság (y_0) a rádiócsatorna tengelye alatt negatív, fölötté pozitív.

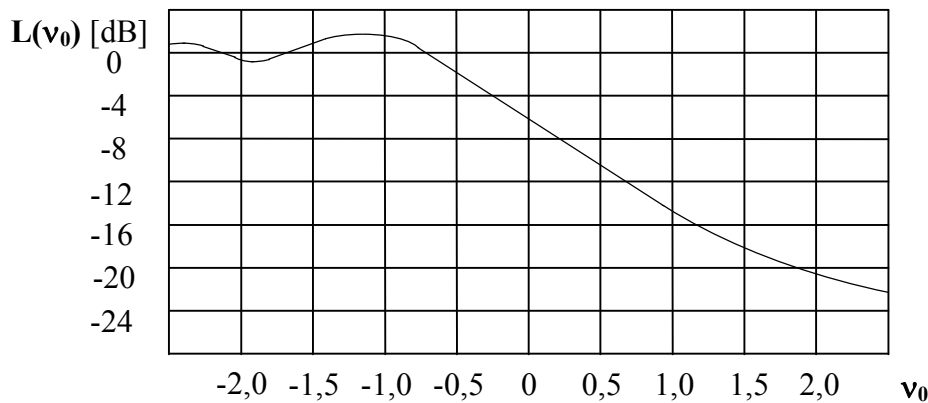
$$r_0 = \sqrt{\lambda \cdot \frac{x_0 \cdot (d - x_0)}{d}} \quad \{4\}$$

ahol: λ az üzemi hullámhossz
 d az összeköttetés távolsága

Az 1. ábra alapján az I. Fresnel-zónába a benyúlás mértéke [4.-p431]:

$$v_0 = \frac{y_0}{r_0} \quad \{5\}$$

A késél okozta fading a benyúlás mértékének függvényében a 2. ábrán látható. Kiszámítva v_0 értékét az egy késél okozta fading $L(v_0)$ meghatározható:



2. ábra. Késél okozta fading [1.-p40 alapján]

$L(v_0)$ függvény értelmezési tartományát felosztva az egyes tartományokhoz közelítőfüggvény rendelhető, mely segítségével v_0 ismeretében L számítható.

Ezek a függvények a következők [1.-p39]:

$$L_{(v_0)[dB]} = \begin{cases} 20 \cdot \lg(1) & v_0 \in (-\infty ; -0,8) \\ 20 \cdot \lg(0,5 - 0,62 \cdot v_0) & v_0 \in [-0,8 ; 0) \\ 20 \cdot \lg(0,5 \cdot 10^{-0,95 \cdot v_0}) & v_0 \in [0 ; 1) \\ 20 \cdot \lg\left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1 \cdot v_0)^2}\right) & v_0 \in [1 ; 2,4) \\ 20 \cdot \lg\left(\frac{0,225}{v_0}\right) & v_0 \in [2,4 ; \infty) \end{cases} \quad \{6\}$$

A 2. ábra és a {6} alapján elfogadott közelítés, hogy abban az esetben, ha az I. Fresnel-zóna 80 %-a szabad, a diffrakciós fading elhanyagolható.

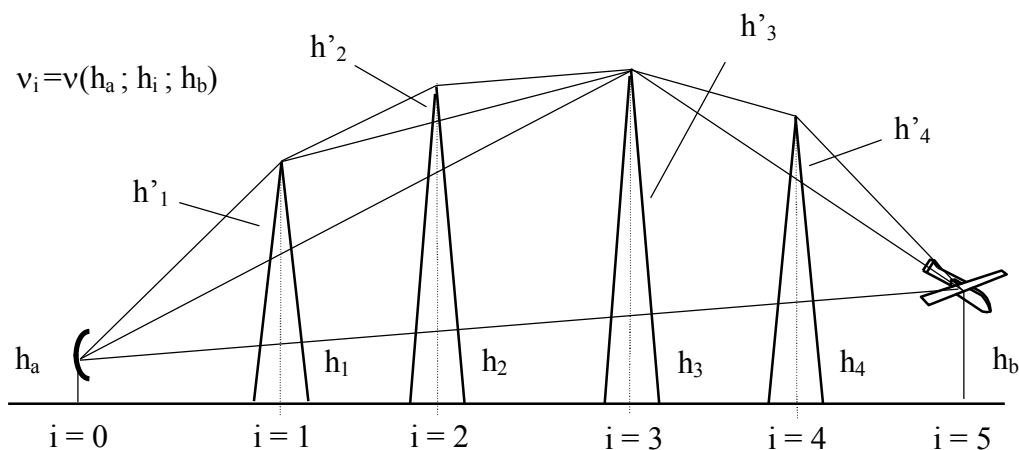
1.2. Több késél okozta fading kétdimenziós modellezése

Rendszerint a rádiócsatornát nem egy, hanem több akadály terhel. A többszörös késél okozta diffrakció számítás valamennyi algoritmusának alapjául az egyetlen késélre vonatkozó fading számítása szolgál. A különbség az egyes késélek figyelembevételében, a késélek egymásra hatásának modellezésében van. Továbbiakban – kiemelve egy modellt – mutatom be a diffrakciós fading számításának lehetőségét.

A **Deygout modell** alkalmazása során a terepmetszet, mint vizsgált tartomány egy intervallumot képez. Az I. Fresnel-zóna gyújtópontjai az intervallum határain az antennák (később csúcsok) magasságában találhatók.

Az intervallum valamennyi csúcán végighaladva meghatározzák a maximális fadinget okozó csúcs helyét (a benyúlás mértéke, v_0 alapján). Az eredeti intervallumot a maximális fadinget okozó késélnél két részintervallumra bontják, majd ezen részintervallumokon is elvégzik a vizsgálatot a részintervallumra bontással, és így tovább.

A vizsgálat és a részintervallumra bontás mindaddig folytatódik, míg a részintervallumok késélt tartalmaznak. Az így számított maximális diffrakciós fadingek összege adja az eredő diffrakciós fadinget. Programozás-technikailag az eljárás rekurzív algoritmust eredményez. A Deygout modell a 3. ábrán látható, működése a 4. ábrán kísérhető figyelemmel.

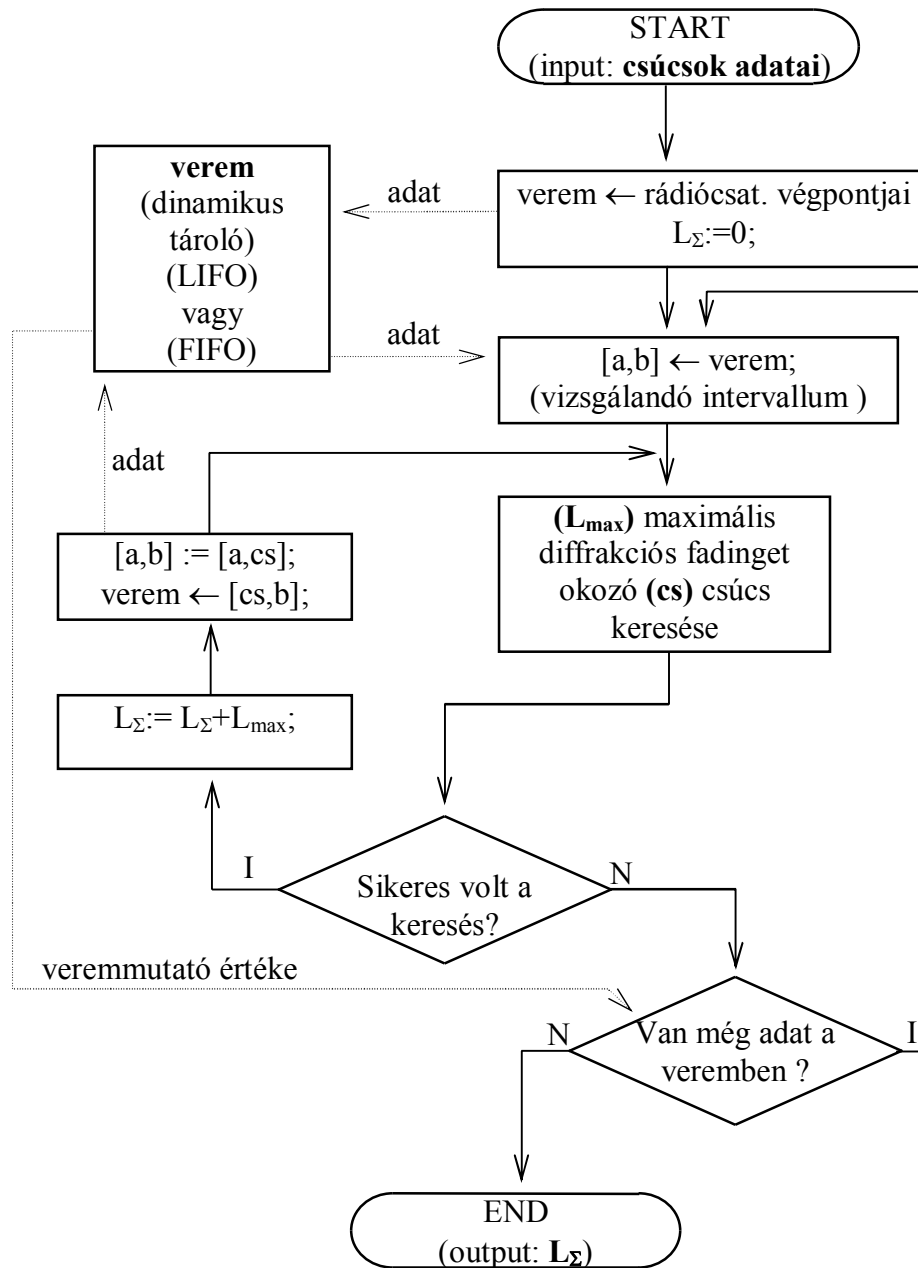


jelölés:

- h : a Fresnel-ellipszoidok gyújtópontjai
- h' : a Fresnel-ellipszoidok nagytegyelétől mért távolság

3. ábra. A Deygout modell [1.-p51 alapján]

A 4. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai a terepmetszet mentén a két végpont (adó- és vevőantenna, antennamagasságokkal) és a diffrakciós csúcsok helyzete és magassága, mely adatok sorrendje az adóantennától a vevőantenna irányában szekvenciálisan tárolt. Kiinduló adatként a végeredményben szereplő diffrakciós fading kezdőértéke 0 dB. A kezdeti vizsgált intervallum határai a teljes terepmetszet határai (adó- és vevőantenna).



4. ábra. A Deygout modell folyamatábrája

Ha van, megkeressük a maximális diffrakciós fadinget okozó csúcsot. Ezt követően az intervallumhatárookra, mint adó- és vevőantenna, valamint a domináns csúcsra az egy késél okozta diffrakciós fading számítására alkalmazott közelítő függvényekkel {6} meghatározásra kerül a diffrakciós fading, mely hozzáadásra kerül a végeredményben szereplő diffrakciós fading értékéhez. A domináns késélnél a vizsgált intervallumot ketté választva, az egyik részintervallumot intervallumként „félretéve”, a másik részintervallumon, mint intervallumon

mindaddig folytatjuk ezen bekezdésben foglalt műveleteket, míg az intervallum határokon belül található(k) diffrakciós fadinget okozó csúcs(ok).

Az előző bekezdésben foglalt műveleteket mindaddig végezzük, amíg van „félretett” intervallum.

Az algoritmus kimenő adata a modell által becsült diffrakciós fading.

A szakaszcsillapítás ezek alapján:

$$a_{sz} = a_0 - \sum_{i=1}^{n-1} L(v'_i) \quad \{15\}$$

ahol példaként a 3. ábra alapján feltételezve, ha $v_3 > v_1 > v_2$ és $v_3 > v_4$ akkor:

$$v'_3 = v(h_a ; h'_3 ; h_b);$$

$$v'_1 = v(h_a ; h'_1 ; h_3);$$

$$v'_2 = v(h_1 ; h'_2 ; h_3);$$

$$v'_4 = v(h_3 ; h'_4 ; h_b);$$

2. Digitális domborzat modell (DDM) alkalmazása

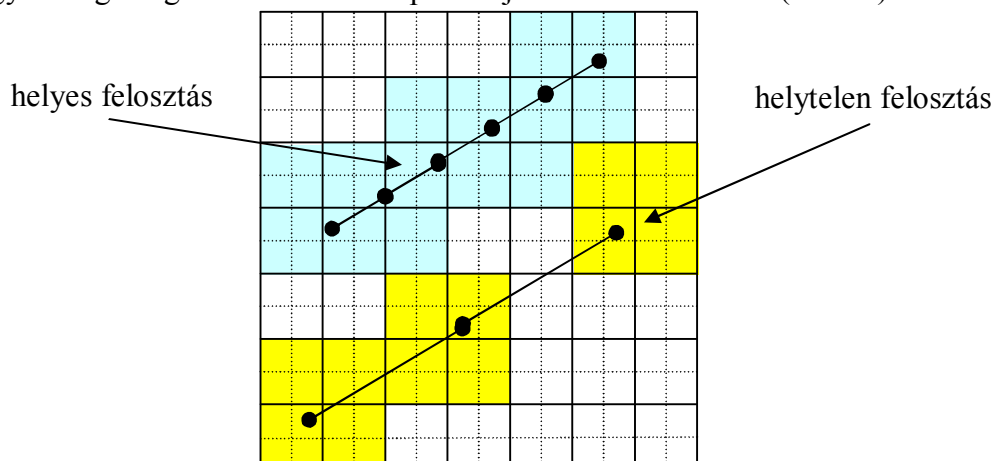
Közismert, hogy például két adott pont közötti rádió-összeköttetés megtervezése mennyi térképmunkát, időt, vagyis költséget emészt fel.

Napjaink korszerű számítástechnikai apparátusa és az elérhető digitális domborzat modellek bővülő köre arra biztatja a szakembereket, hogy ezek alkalmazásával gyorsabb, költségkímélőbb és megbízhatóbb tervezési folyamatot alakítsanak ki.

2.1. Terepmetszet készítése

Megfelelően választott lépésközzel, a szabályos raszteres adatbázisokat [5.-p251] alkalmazva, két kijelölt pontot összekötő szakasz mentén vertikális terepmetszet készíthető.

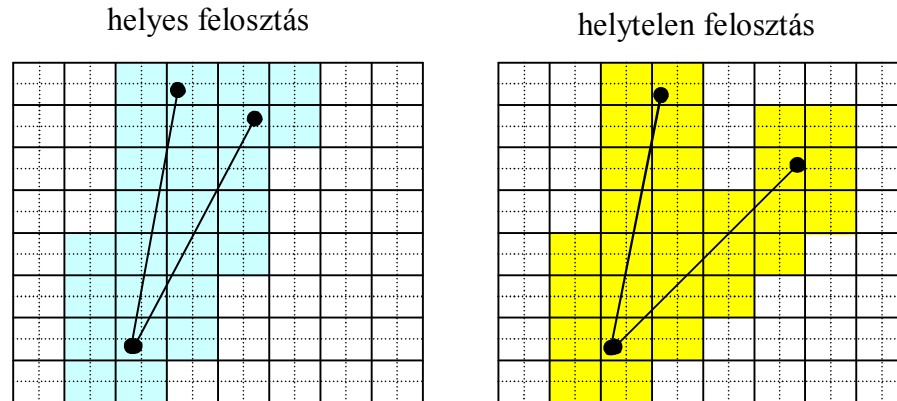
A lépésköz megválasztása során az összekötő szakaszt olyan sűrűséggel kell felosztani, hogy a metszetkészítés során ne legyen a metszet mentén olyan cella, melynek magassági adata nem kerül feldolgozásra, ugyanis ez információvesztéshöz vezet (alul-mintavételezés). Ennek elkerülése érdekében a cella élhosszánál minden esetben kisebb lépésközt kell választani. A metszetkészítés során az osztópont magasságát az öt körülvevő cellanégyes magasságának lineáris interpolációjával lehet előállítani (5. ábra).



5. ábra. Terepmetszet osztópontjainak kijelölése a DDM felett

2.2. Ellátottsági- és árnyékdiagram előállítás

Az eddigiekre építkezve a DDM alkalmazására épülő területi ellátottsági- és árnyékdiagram készítésének algoritmus a következő. Ha az átláthatóság vizsgálata és az összeköttetés minőségi modellezése pont-pont viszonylatban megvalósult, innen már csak egy lépés a pont-terület viszonylat vizsgálata, az ellátottsági- és árnyékdiagramok készítése.



6. ábra. Horizontális pásztázás

Az információvesztés (alulmintavételezés) elkerülése érdekében továbbra sem szabad elfeledkezni arról a szemponttól, hogy a kérdéses terepszakaszon található valamennyi terepelemet érinteni kell az analízis során (6. ábra).

Terület vizsgálata során adott pontból megfelelően megválasztott oldalszög szerint elfordulva megfelelő távolságig terepmetszeteket kell készíteni. Az egyes terepmetszetek analízisa során az adott pontból, az adott ponttól távolodva, rendre meg kell határozni a szakaszcsillapítás értékét. A terepmetszet valamennyi osztópontjára meghatározott szakaszcsillapítás értékét összehasonlítva egy előre definiált kritikus csillapítás értékével eldönthető, hogy a terepmetszet mely pontjai tartoznak a ellátott és melyek az árnyékszónához (7. ábra).

A kijelölt pontból a terepmetszés szükséges távolságát az energetikai határ (d_{max}) szabja meg. Az energetikai határon túl a szabadtéri csillapítás már önmagában eléri a kritikus (a rádiócsatorna által megengedhető maximális) értéket, az összeköttetés bizonytalanná válhat. Ezen távolságon belül kell a vizsgálatot elvégezni, mivel ezen a határon túl a kommunikáció nagy valószínűséggel nem valósítható meg [3.-p578 alapján].

$$d_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\left(\frac{a_{kritikus[dB]} + G_a[dB] + G_v[dB]}{20}\right)} \quad \{16\}$$

ahol: d_{max} energetikai határ
 λ alkalmazott hullámhossz
 $a_{kritikus}$ a rádiócsatorna megengedett maximális csillapítása
 G_a adóantenna nyeresége
 G_v vevőantenna nyeresége

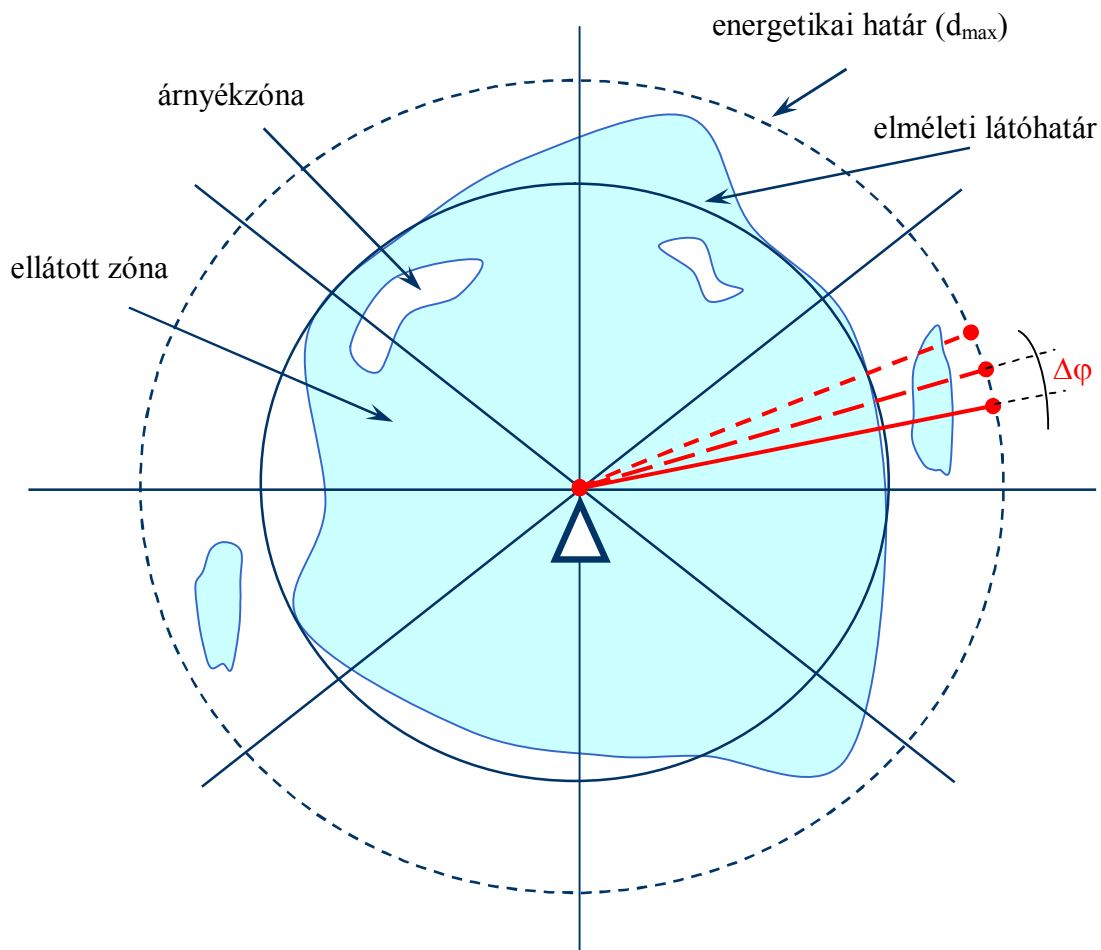
Az energetikai határ ismeretében meghatározható a pásztázás során – az egyes terepmetszetek vizsgálatához szükséges – maximális oldalszög szerinti léptetés értéke ($\Delta\varphi$), mely biztosítja az információvesztés elkerülését (alulmintavételezést).

$$\Delta\varphi = \arctg\left(\frac{dp}{2d_{\max}}\right) \quad \{17\}$$

ahol: $\Delta\varphi$ oldalszög szerinti léptetés
 dp a pixel legkisebb mérete
 d_{\max} az energetikai határ

Összegzés

Ezek alapján belátható, hogy a vertikális terepmetszet és a területi- ellátottsági diagram készítése lehetséges digitális domborzat modell alkalmazásával az UAV-k repüléstervezésének során. Az ellátottsági- és árnyékdiagramok alkalmazása elősegíti azon repülési útvonalszakaszok előrejelzését, azonosítását, ahol az összeköttetés bizonytalanná válhat, szükséges lehet az elkerülő manőver vagy autonóm üzemmód megvalósítása, illetve az UAV által szolgáltatott adatok vétele meghiúsulhat.



7. ábra. Ellátottsági- és árnyékdiagram készítése körkörös letapogatással

Felhasznált irodalom

- [1] J. D. Parsons: The Mobile Radio Propagation Channel.
Pentech Press, London, 1992;
- [2] Wireless Communication, Radio Propagation models
http://people.deas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html;
- [3] Dr. Istvánffy Edvin: Távonalak, antennák, hullámterjedés
Tankönyvkiadó, Budapest, 1984
- [4] Almássy György: Mikrohullámú kézikönyv
Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1973;
- [5] Detrekői Ákos – Szabó György: Térinformatika
Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002, ISBN 963 19 3932 4.