



**ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
Katonai Műszaki Doktori Iskola**
Alapítva: 2002 évben – Alapító: Prof. Solymosi József DSc.

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Horváth Zoltán

**Digitális Domborzat Modell alkalmazása a
kis- és közepes méretű pilóta nélküli
repülőgépek biztonságának növelése,
képességeinek fejlesztése terén**

.....
tudományos témavezető
Dr. Ványa László
egyetemi docens

2009

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Bevezetés	4
1. A terepdomborzat hatása az UAV kommunikációs csatornájának stabilitására	10
1.1. A kommunikáció stabilitása és a repülés biztonsága.....	10
1.1.1. Irányítás rádiócsatornán, vizuális kapcsolat alapján.....	10
1.1.2. Irányítás rádiócsatornán, vizuális kapcsolat nélkül.....	12
1.1.3. Irányítás rádiócsatornán, robotpilóta alkalmazásával.....	13
1.2. A rádiócsatorna és a terepdomborzat.....	15
1.2.1. Egy késél okozta fading kétdimenziós modellezése.....	15
1.2.2. Több késél okozta diffrakciós fading becslése, különböző terjedési modellek alkalmazásával.....	19
1.2.3. A modellező program futtatásainak tapasztalata.....	27
1.3. Adatnyerés, terepmetszet készítés szabályos, raszteres Digitális Terepmodell alkalmazásával.....	28
1.3.1. Magassági adat kinyerése Digitális Terepmodellből.....	29
1.3.2. Terepmetszet készítése DTM alkalmazásával.....	30
1.4. Ellátottsági- és árnyékdiagram előállítása.....	32
1.5. Következtetések.....	34
2. Repülési útvonal tervezése Digitális Domborzat Modell alkalmazásával	36
2.1. A hagyományos repülési útvonaltervezés problémaköre a repülés biztonsága szempontjából.....	36
2.2. Megfelelő finomságú mintavétel.....	38
2.3. Horizontális távolságtartalék biztosítása.....	41
2.4. Vertikális távolságtartalék biztosítása.....	44
2.5. UAV süllyedési és emelkedési képességének figyelembe vétele.....	45
2.6. Minimális megkövetelt repülési magasság figyelembe vétele.....	49
2.7. A repülési útvonal adatainak posztprocesszálása.....	50
2.8. Az útvonaltervező algoritmusok lehetőségeinek összegzése.....	53
2.9. A szimuláció.....	53
2.10. Következtetések.....	59
3. Perspektivikus légi fényképek analízálása, szintetizálása DDM alkalmazásával	61
3.1. Képalkotás.....	62
3.2. A képalkotó eszköz vizsgálata.....	64
3.3. A tér rekonstruálása három ismert pontja alapján.....	65
3.4. A térképészeti és a kamera által alkalmazott referenciarendszerek illesztése.....	67
3.5. Az objektum koordinátáinak meghatározása Digitális Domborzat Modell alkalmazásával.....	68
3.6. Ortofotó-térképek, DTM rétegek létrehozása.....	69
3.7. Információvesztés a leképezés során.....	70
3.8. A szimuláció.....	71
3.8.1. Adott térbeli pont koordinátáinak meghatározása a fényképezőgép és a terep három ismert koordinátájú pontja alapján.....	71

3.8.2. Perspektivikus légi fénykép ortofotóvá konvertálása, az egyes ortofotók mozaikszerű egymáshoz illesztése	75
3.9. Következtetések.....	78
Összegzett következtetések	79
Az értekezés új tudományos eredményei	81
Az értekezés ajánlásai	82
Mellékletek	83
Felhasznált irodalom jegyzéke	95
Rövidítések jegyzéke	99
Ábrák jegyzéke	100
Táblázatok jegyzéke	103
Saját publikációk jegyzéke	104

Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek (továbbiakban: UAV¹) alkalmazása napjainkban egyre nagyobb teret hódít. Gyors fejlődésük és egyre elterjedtebb alkalmazásuk számos, a hagyományos repülő eszközök üzemeltetésével szembeni előnyének köszönhető. Felderítő és kutató tevékenységet folytathatnak nehezen megközelíthető, vagy veszélyes helyszíneken. Biztonságos távolságról irányítható a küldetés végrehajtása, az alkalmazók életének, testi épségének veszélyeztetése nélkül. Üzemeltetése és üzemben tartása költséghatékonyabb, küldetéshez való előkészítésének és az utólagos karbantartás elvégzésének időtartama rövidebb, mint az ember vezette repülő eszközöké. Az alkalmazói képzés olcsóbb – lényegesen kevesebb időt és üzemórát vesz igénybe – mint a pilóták felkészítése. Az alkalmazói alkalmasság nincs a légi üzemeltetéshez szükséges egészségügyi követelményhez kötve. A légi személyzet és a hozzájuk kapcsolódó számos eszköz, mivel nem a fedélzeten foglal helyet, a méretezés és kialakítás új perspektíváit nyitotta meg, javítva a hasznos teher – teljes tömeg arányon.

Sok előnye mellett elterjedésének és alkalmazásának hátrányairól sem szabad megfeledkezni. Alkalmazhatóságukat, **elsősorban a biztonságos repülés végrehajtását**, hatótávolságukat, **befolyásolhatja a földi irányítás és a fedélzet közötti kommunikáció² stabilitása**. Újabb biztonsági problémaként merül fel az, hogy a magára hagyott, vagy magára maradt UAV-nak milyen lehetőségei vannak arra, hogy újra fel tudja építeni a kommunikációt, vagy önállóan, biztonságosan végre tudja hajtani feladatát. Vannak olyan feladatok (pl. ortofotók³ készítése), melyek végrehajtására az UAV-k legnagyobb része jelenleg még alkalmatlan. Ennek okaiként említem – kis tömegéből és méretéből adódóan – a fedélzeti hasznos terhelhetőségének korlátozottságát, a repülés stabilizáltsági szintjét és a viszonylag kis repülési magasságot.

Kutatásaim során a **kis- és közepes magasságon⁴ feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek repülésbiztonságának és képességfejlesztésének kérdéseit tárgyalom.**

¹ „Pilóta nélküli légi jármű” (Unmanned Aerial Vehicle, „UAV”) : Minden olyan repülőeszköz, amely a fedélzeten mindennemű emberi jelenlét nélkül képes a repülés megkezdésére, valamint az irányított repülés és navigálás fenntartására [4. p. 3.].

² Egy UAV egyidejűleg több rádiócsatornát is alkalmazhat (pl: irányítócsatorna, adatátviteli csatorna) melyek hatótávolsága, stabilitása korlátozhatja az alkalmazhatóságot.

³ Közel függőleges tengelyű, optikai kamerával készült perspektivikus torzulástól mentes légifénykép, mely térképi vetületnek megfeleltethető, térképészeti termék.

⁴ 10 – 500 (1000) m [9. p. 26.] alapján

Van-e lehetőség a repülésbiztonság növelésére (kommunikációs instabilitás és nem megfelelően átgondolt útvonalterv végett bekövetkező események elkerülésére)? Fontos kérdés, hogy mindez kivitelezhető-e anélkül, hogy tovább nőne a hasznos terhek tömege? Megoldható-e, hogy a kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó UAV által, tetszőleges helyzetben készített perspektivikus⁵ digitális légi fényképeket utólagos feldolgozással átalakítsuk ortofoto képpé?

A repülés biztonságáról lemondani nem szabad. Egy küldetés során az UAV-nak minden körülmények között végre kell hajtania a feladatát, és ha eleve nem egyszeri alkalmazásra tervezték, akkor vissza kell térnie. Ha ez az elv csorbát szenved, ez – minden előnye ellenére – akadályozhatja alkalmazásának elterjedését. Esemény során kárt okozhat, elvesz az eszköz és az általa gyűjtött adat, illetéktelen kezekbe kerülhet, balesetet okozhat.

Növelné az UAV értékét, ha a már meglévő struktúrára építve, az egyébként csak speciális és költséges rendszerek által végzett feladatok ellátására is képes lenne. Megoldás lehet – a beépített eszközök tömegének korlátozottsága miatt – a „**tömeg nélküli eszközrendszer**”, vagyis a számítógépes programok és adatbázisok alkalmazása.

Kutatásaimtól olyan eredményeket várok, amelyek összességében biztonságosabbá teszik az UAV-k feladat végrehajtását, és kibővítik képességeiket, lehetőségeiket.

Műszaki kutatásaim – a küldetések tökéletesebb végrehajtása érdekében – három fő kérdésre irányulnak:

- hullámterjedési modellek elemzésével a **földi irányítópont ellátottsági körzetének meghatározására;**
- előzetesen tervezett fordulópontok⁶ alapján a **biztonságosan repülhető magasságú útvonal meghatározására, és ez alapján a terepkövető repülési mód kidolgozására;**
- a perspektivikus digitális légi fényképek perspektivikus és domborzat által okozott torzításainak kompenzálásán keresztül **digitális ortofotók előállítására, azok ortofoto térképekké történő szintetizálására** irányulnak.

⁵ Ha a képsík és a tárgy sík nem párhuzamos, a leképezés során a párhuzamosak nem lesznek párhuzamosak. Síkbeli méretarányváltással, forgatással, tükrözéssel (affin transzformáció) a képsík és a tárgy sík között nem teremthető kapcsolat.

⁶ Azon koordináták sorozata, melyeken sorrendben átrepülve az UAV berepüli a számára kijelölt útvonalat.

Kutatásaim során a Digitális Terepmodell (továbbiakban: DTM⁷) és a Digitális Domborzat Modell (továbbiakban: DDM⁸) által nyújtott lehetőségek kiaknázásán keresztül hoztam létre **ezen funkciókat és feladatokat, amelyek a földi irányítópont és/vagy az UAV fedélzeti számítástechnikai apparátus feladatrendszerébe beintegrálhatók.**

Jelen értekezés szorosan kapcsolódik több, az utóbbi néhány évben született doktori értekezés és publikáció témájához [3. ... 11.], amelyek az UAV-k alkalmazásának biztonsági kérdéseire, lehetőségeire kiaknázásához kapcsolódik. Munkám – kiegészítve a már elért eredményeket – meglévő struktúrára építve egészítheti ki az UAV repülésbiztonságának, képességei fejlesztésének lehetőségeit.

Kutatási célkitűzéseim az alábbiak:

1. Annak vizsgálata, hogy a földi irányító pont és az UAV viszonylatában a **kommunikáció stabilitása** – különböző irányítási modellek esetén – miként hat a küldetés sikeres végrehajtására, a repülés biztonságára. Elemezni az egyes hullámterjedési modellek alkalmazhatóságát, és javaslatot tenni, hogy a DDM alkalmazásával előállított ellátottsági- és árnyékdiagramok – növelve a küldetés végrehajtásának sikerességét, a repülés biztonságát – miként vonhatók be az UAV küldetésének tervezési, végrehajtási folyamatába.
2. Rávilágítani, hogy a repülések tervezése és végrehajtása során a háromdimenziós tér két-dimenziós megjelenítéséből (térkép, monitor) adódóan a repülési útvonalak jelenleg folyó tervezése nem elég körültekintő megoldás. Javaslatot tenni, miként lehet síkkoordináták alapján meghatározott repülési útvonalakból térbeli koordináták által leírt, – a repülés biztonságát fenyegető domborzat hatását elkerülő – **biztonságos magasságú repülési útvonalakat tervezni**, hogyan lehet megvalósítani az automatikus **terepkövető módú repülést**.
3. Bizonyítani, hogy a DDM és alkalmazására kifejlesztett program(ok) képesek kompenzálni a **terepdomborzat torzító hatását, a digitális légi fényképek perspektivikus torzítását, általuk egymáshoz illeszthető ortofotók állíthatók elő viszonylag egyszerű, kis költségigényű módszerrel.**

⁷ A terep adatait tematikus rétegekbe szervezve tartalmazó digitális adatbázis (rétegek tartalma pl.: domborzat, vízrajz, fedvény, stb. A DDM lehet a DTM egy rétege.)

⁸ A terep magassági adatait tartalmazó digitális adatbázis, melyből adott koordinátájú tereppont magassága vizsgálható.

Kutatási módszerek

Irodalomkutatásra épülő **információk és adatok összegyűjtése és rendszerezése** mellett felhasználtam a **megfigyelést** és a **kritikai adaptációt**, majd a **kutatások másodelemzésével**, az összefüggéseknek az **analízis** és **szintézis**, az **indukció** és **dedukció**, a **modellezés** és **szimuláció** módszereinek alkalmazásával törekedtem kutatási céljaim elérésére és megvalósítására.

Fő feladatként az irodalomkutatásra építve algoritmusokat, eljárásokat dolgoztam ki. Az általam megalkotott algoritmusok és eljárások tesztelésére, működésük megfigyelésére, a keletkező adatok analizálására Borland Pascal 7.0 fejlesztői környezetben számítógépen futtatható programokat hoztam létre. A programok futtatási eredményei lehetőséget biztosítottak a bemeneti paraméterváltozás hatásának elemzésére, következtetések levonására. A DTM és a DDM kezelését két modell alkalmazásán mutatom be, melyek felbontásuk és koordináta rendszerük alapján is különböznek. A rádiócsatorna bemutatását DTM-200 adatbázison (Gauss-Krüger⁹ vetületi rendszer), az útvonaltervezést DDM-50 adatbázison (EOV¹⁰ vetületi rendszer) végeztem.

A perspektivikus digitális fényképek feldolgozását (koordináta meghatározása) generált DDM adatbázison¹¹ végeztem.

Az irodalomkutatáson túl, részt vettem olyan tudományos konferenciákon, szimpóziumokon, ahol a téma, illetve az ezt övező kapcsolódó határterületek kerültek megvitatásra.

Mindezekon kívül konzultációkat folytattam az adott szakterület prominens szakértőivel, tervezőivel, felhasználóival, akik információikkal, tanácsaikkal, kérdéseikkel és további tudományos igényű probléma felvetéseikkel, valamint javaslataikkal nagyban hozzájárultak és segítettek munkám elvégzését.

Az értekezés felépítése

Az **első fejezetben** bemutatom az UAV-k alapvető üzemmódjait. Az egyes üzemmódok megvalósítása során kiemelem az UAV és a földi irányítópont közötti kommunikáció stabilitásának hatását a repülés biztonságára.

⁹ Forgási ellipszoid (Kraszovszkij) transzverzális elhelyezkedésű érintő szög tartó hengervetülete [34]. Az MH 2004. 07. 01-én bekövetkező térképcseré végett ezt a vetületi rendszert már nem alkalmazza [41]. Tekintettel arra, hogy kutatásaim kezdete régebbre nyúlik vissza, illetve fent említett adatbázis állt rendelkezésemre, kutatásaimat ezen a vetületi rendszeren végeztem.

¹⁰ Első lépésben az IUGG1967 ellipszoidról az ellipszoid gömbi vetületével az új Gauss-gömbre, onnan pedig egyetlen ferdetengelyű, két hossz tartó segédparalelkörű, (redukált) távolságtartó hengervetülettel a síkra vetítünk. Ezt nevezzük *Egységes Országos Vetületnek* [34]

¹¹ [PRG6] alapján

Kis- és közepes repülési magasság esetén a terepdomborzat rádiócsatornára gyakorolt csillapító hatása már nem elhanyagolható. Diffrakciós hullámterjedési modellek segítségével bemutatom a terepdomborzat által okozott többletcstillapítás becslésének módszereit. Az egyes terjedési modelleket algoritmizálásával – a domborzat magassági adatait figyelembe véve, saját fejlesztésű számítógépes program segítségével – analizálom az egyes terjedési modellek működését a szakaszcstillapítás becsült értéke és a figyelembe vett domináns terep-akadályok mennyisége alapján.

Kidolgozom a magassági adatok DTM-ből történő kinyerésének, terepmetszet készítésének algoritmusait, melyek a terjedési modellek bemenő adatait képezik.

A terjedési modellek és a DTM együttes alkalmazásával megállapítom az ellátottsági- és árnyékdiagram készítésének feltételeit az UAV-k küldetéstervezésében.

A **második fejezetben** rámutatok a repülési útvonal tervezésének és módosításának veszélyeire. Bemutatom, hogy a tervezés során a biztonságos útvonal tervezéséhez szükséges adatok feldolgozása mennyire körülményes mind a minimális biztonsági repülési magasság meghatározása, mind az UAV technikai lehetőségeinek figyelembe vétele területén.

Algoritmusokat dolgozok ki, melyek a repülési útvonal vertikális vetületét figyelembe véve, DDM alkalmazásával képesek olyan térbeli repülési útvonal kidolgozására, mely útvonal a domborzat és az UAV képességeit figyelembe véve ezek után már biztonságosan repülhető, így megvalósíthatóvá válik a terepkövető repülési mód.

A **harmadik fejezetben** bemutatom, hogy melyek azok az okok, amelyek alapesetben az UAV-t alkalmatlanná teszik ortofotók készítésére. Napjainkra komoly műszaki színvonalat képviselő fénykép- és videofelvételt készítő eszközök méretüket, tömegüket tekintve már az UAV-k által is szállíthatók, ezért arra törekszem, hogy az általuk készített digitális légi fényképek viszonylag kis költségkihatású eljárásokkal utólag feldolgozhatók legyenek.

Térbeli koordináta-transzformáció (két térbeli derékszögű koordinátarendszer közötti átjárhatóság) megvalósításán keresztül a DDM alkalmazásával kidolgozom és rendszerezem azt a matematikai apparátust, amely segítségével az UAV által készített, jó minőségű perspektivikus digitális légi fényképek utólagos feldolgozással átalakíthatók ortofoto képpé, adott közös koordinátarendszerben az egyes ortofoto képek egyesíthetők ortofoto térképpé, mely alapját képezheti egy új DTM réteg létrehozásának.

Saját fejlesztésű számítógépes programok segítségével – előre berendezett helyszínekről készített digitális fényképek alapján – modellezem a matematikai apparátusokra felépített

algoritmusok és eljárások működését, analizálom eredményeit, mind az érdeklődésre számot tartó pont koordinátáinak meghatározása, mind a digitális perspektivikus képek digitális ortofotóvá¹² konvertálása és egymáshoz illesztése területén.

Az általam kitűzött három fő kutatási irány, a megfogalmazott kutatási célkitűzések, valamint az ezeket kifejtő fejezetek összességében és egyenként is az UAV-k repülésbiztonságának és képességeinek fejlesztését szolgálják. Az, hogy ezekből egy adott típusú UAV rendszeren mi valósítható meg, az az adott konstrukciótól és a továbbfejleszthetőség lehetőségeitől függ.

Kiegészítés az értekezésben használt jelölésrendszerhez

Az általam írt programok bemeneti adatait és eredményeit bemutató ábrákat és táblázatokat (elmentett képernyőtartalmak, számszerű bemeneti adatok és az eredményeket tartalmazó táblázatok) [PRG] jelöléssel láttam el, mely az [M4]-ben (4. melléklet) sorrend szerinti programok futó sorszámával egészülnek ki (például: [PRG3] a harmadik, az [M4]-ben jelölt program által felhasznált vagy keletkezett adat.

¹² Valójában az ortofotók előállítása rendkívül szoros specifikáció alapján készül. A mérőkamarákkal szemben támasztott követelmények teljesítésére a digitális fényképezőgépek alkalmatlanok, de a centrális vetítéssel készült fényképek ortogonális vetítésű képre történő átalakítása ortofoto-szerű végeredményt ad.

1. A terepdomborzat hatása az UAV kommunikációs csatornájának stabilitására

Jelen fejezetben ismertetem az UAV-k legalapvetőbb irányítási módjait. Ez azt célozza, hogy demonstráljam az egyes üzemmódok érzékenységet a földi irányító pont és az UAV közötti kommunikáció stabilitására, valamint rávilágítsak a kapcsolat megszakadásának lehetséges következményeire.

Pont-pont viszonylatban bemutatom négy szakaszcsillapítást becsülő terjedési modell működését, melyek alkalmazása a kommunikációs csatorna vizsgálata szempontjából jóval túlmutat az optikai láthatósági vizsgálaton, és amely eljárást UAV-k küldetéstervezése során legjobb tudomásom szerint még nem alkalmaznak sehol.

A szükséges mélységben ismertetem a folytonos, raszteres adatszerkezetű adatbázisok felépítését és a magassági információ kinyerésének folyamatát, hogy erre építve bemutathassam a terepmetszet készítésének kidolgozott algoritmusát, DTM alkalmazásával.

Az eddigiekre építkezve megalkotom a DTM alkalmazására épülő területi ellátottsági- és árnyékdiagram készítésének algoritmusát, mint az UAV-k küldetéstervező moduljának általam javasolt bővítését.

1.1. A kommunikáció stabilitása és a repülés biztonsága

A kommunikáció stabilitásának fontosságát egy egyszerű irányítási modell funkcionális működésén keresztül mutatom be, ugyanakkor nem célozom a modell részletes működésének, klasszikus szabályozástechnikai értelemben vett stabilitásának vizsgálatára.

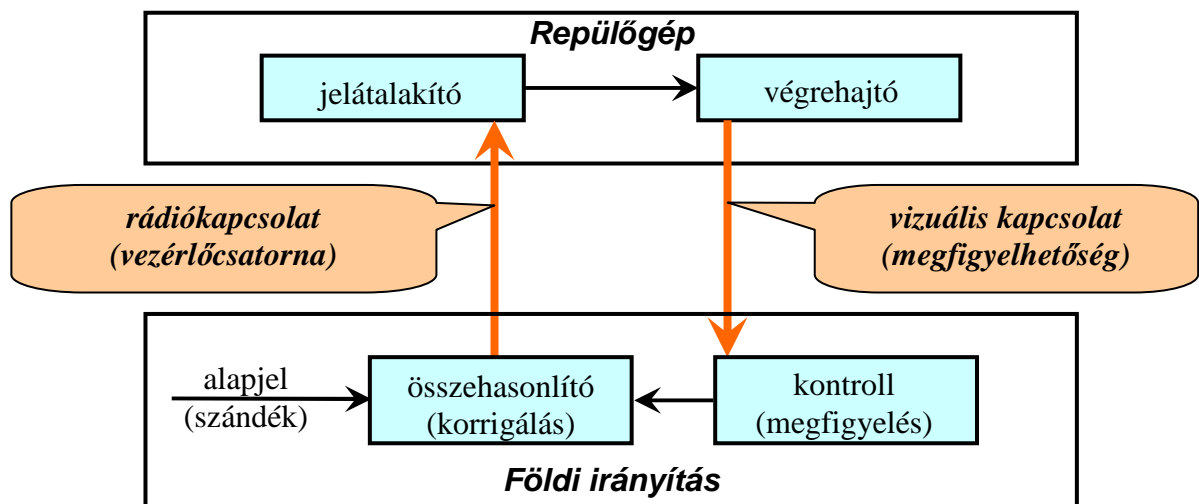
Könnyen belátható, hogy a szabályozókör helyes működése, az irányítás akkor sem valósul meg, ha a szabályozóhurok felhasad, vagy a hurkon belül az egyes funkciókat ellátó egységek között a jelátvitel megszakad. A továbbiakban az UAV-k irányításának különböző üzemmódjait, azok sebezhetőségét ezen az egyszerű modellen keresztül ismertetem.

1.1.1. Irányítás rádiócsatornán, vizuális kapcsolat alapján

Az UAV-k kézi irányításának alapgondolata a repülőgépmoделlek irányítási rendszerére épül. A repülőgép modellek röptetése hobby, szórakozás szinten csak az élmény, látványosság kedvéért került kialakításra.

Egyszerű repülőgépmodell esetén a földi irányítás és a repülőgépmodell mindösszesen egy rádióösszeköttetést, abban akár több vezérlőcsatornát alkalmaz. A visszacsatolás megvalósítása csak a repülőgépmodell viselkedésének optikai úton történő figyelemmel kísérése útján valósul meg. A szándék és a viselkedés összehasonlítása a repülést irányító személy feladata (összehasonlító egység). Döntéshozóként a repülőgépmodell viselkedését figyelemmel kísérve módosítja az alapjelet annak érdekében, hogy szándéka megvalósuljon. Említésre érdemes, hogy külső szemlélőként egy repülőgépmodell irányítása komoly tapasztalatot, szakértelmet igényel.

Az optikai kapcsolat fenntartása csak néhány száz méteren belül valósítható meg. Ha megszűnik az optikai kapcsolat, még egy kísérlet tehető a magasság növelésére irányuló manőverrel (feltételezve, hogy rádiókapcsolat még van), de ha ez sem vezet eredményre, megszűnik az irányítás lehetősége, aminek eredménye többnyire a repülőgépmodell elvesztése.



1. ábra. Repülőgépmodell irányítási modellje¹³

Az egyes egységek funkciói (1. ábra):

- **alapjel:** a repülést irányító személy szándéka, az irányítás során a repülőgépmodell általa elgondolt manővereinek, repülési útvonalának kivitelezése céljából;
- **összehasonlító egység:** a szándék és a viselkedés összehasonlítása a repülést irányító személy által;
- **jelátalakító egység:** a vezérlőjelek átalakítása a végrehajtó egység funkcionálisát kiváltó jelekké a repülőgépmodell fedélzetén;

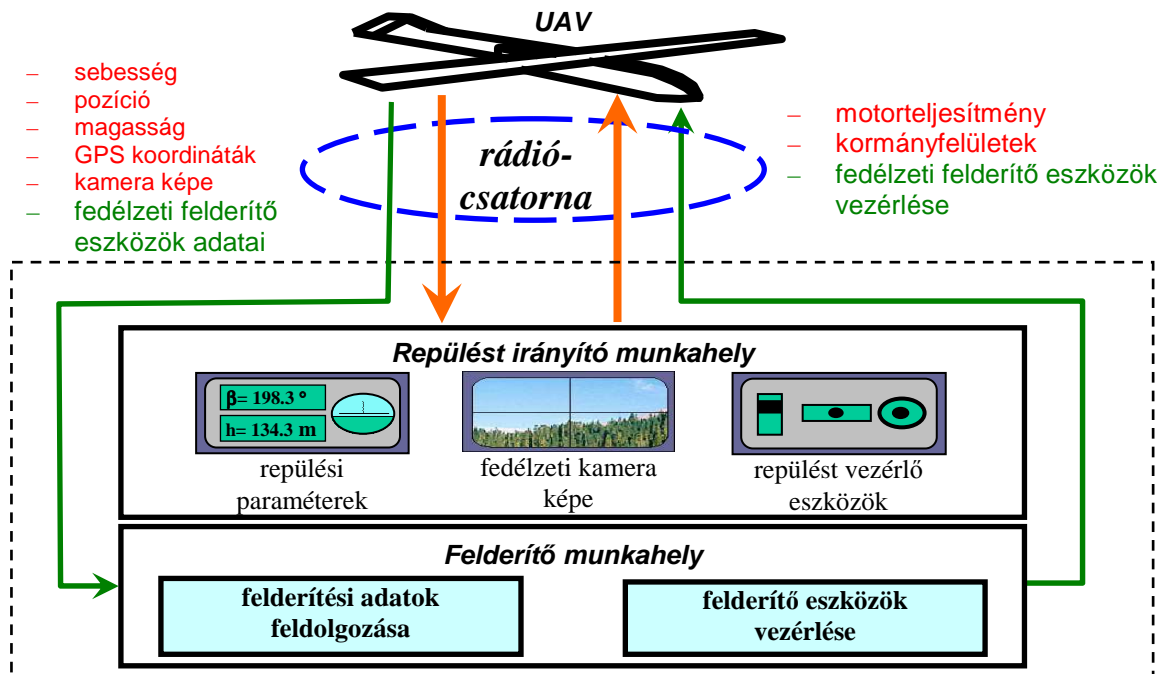
¹³ Készítette: Horváth Zoltán

- **végrehajtó egység:** funkcionalitásán keresztül a repülőgépmodell viselkedésének módosítása a repülőgépmodell fedélzetén;
- **kontroll egység:** a repülőgépmodell viselkedését figyelemmel kísérve az irányító személy módosíthatja az alapjelet annak érdekében, hogy szándéka megvalósuljon.

1.1.2. Irányítás rádiócsatornán, vizuális kapcsolat nélkül

Az UAV-k fedélzetén kialakított eszközpark – mivel az UAV-k egyik alapvető feladata az információgyűjtés – kibővült olyan kis tömegű, kompakt eszközökkel, melyek által szolgáltatott adatok az UAV-k irányításának támogatására is alkalmazhatóak (fedélzeti kamera, GPS vevő¹⁴, gyorsulásérzékelő, barometrikus magasságmérő, sebességmérő, stb.). Ez vezetett a virtuális pilótafülke földi irányítóponton történő kialakításához.

Az UAV- k kézi irányításának megvalósulása a 2. ábrán kísérhető figyelemmel. A virtuális pilótafülke alkalmazása – amennyiben az UAV adatátviteli csatornán továbbítja a földi irányításnak a repülési adatait és az UAV előtti tér képét– megnöveli az UAV hatótávolságát, nincs szükség a vizuális kapcsolat fenntartására. A hatótávolságot a rádiócsatorna által biztonságosan áthidalható távolság határozza meg, illetve korlátozza.



2. ábra. UAV kézi irányítása¹⁵

¹⁴ Global Positioning System (globális helymeghatározó rendszer) vevőegysége, mely GPS (beépített koordináta transzformációs eljárással EOVS) koordinátákat, illetve magassági adatot szolgáltat a felhasználó részére.

¹⁵ Készítette: Horváth Zoltán

Az UAV viselkedése a továbbított repülési adatok alapján kísérhető figyelemmel. A repülést irányító személy feladata életszerűbb, mivel a fedélzeti kamera által továbbított képet figyelve úgy végzi feladatát, mintha az UAV fedélzetén foglalna helyet. Folyamatosan figyelemmel kísérheti a fedélzeti műszerek által szolgáltatott repülési adatokat.

Belátható, hogy figyelmét továbbra is teljes mértékben leköti a repülés irányítása. A repülést irányító személy a repülési adatok figyelembe vételével továbbra is az alapjel módosításával éri el azt, hogy szándéka megvalósuljon. Ebben az esetben is fenn kell tartania az irányítás folyamatosságát. Biztosítani kell a folyamatos kommunikációt az UAV és a repülést irányító személy között. Ha a kommunikáció megszakad, egyrészt nem érkeznek helyzetinformációk és üzemi paraméterek a fedélzetről, másrészt megszűnik az irányítás folyamatossága, ami az UAV elvesztését okozhatja. Ebben a kiépítésben még vészhelyzeti, pl. emelkedési parancs kiadására sincs lehetőség.

A rádiócsatorna stabilitása mellett a repülés biztonságát a repülést irányító személy által kiadott hibás vezérlőparancsok is veszélyeztethetik. A manőverek hibás kivitelezése átéréshez, kritikus bedőléshez, a sárkányszerkezet túlterheléséhez, az irányíthatóság elvesztéséhez, esetleg szerkezeti károsodáshoz vezethet, melyek végső soron szintén az UAV elvesztését okozhatják.

1.1.3. Irányítás rádiócsatornán, robotpilóta alkalmazásával

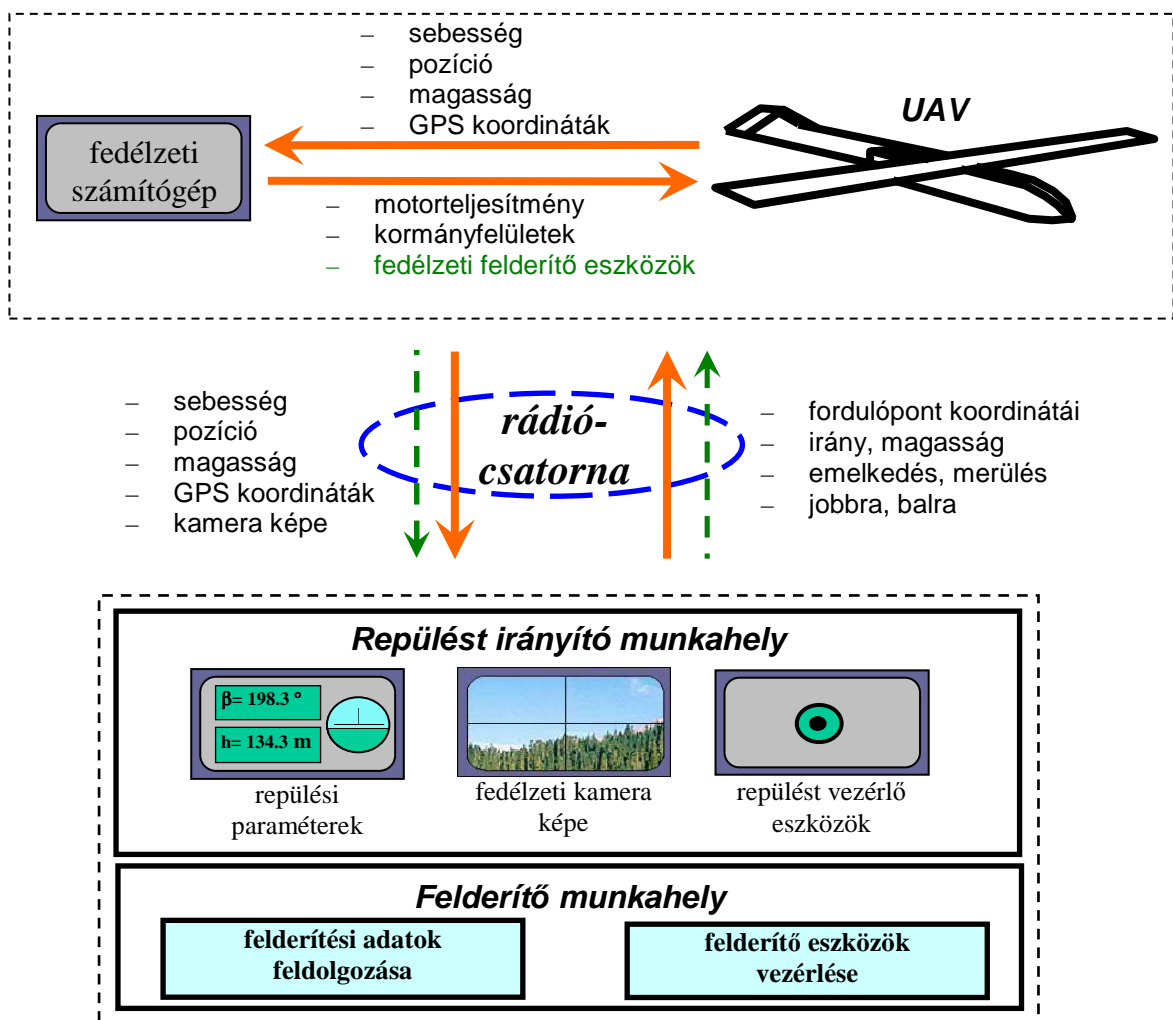
Egy speciális célszámítógépet – robotpilótát – integrálva az UAV elektronikai berendezéseibe, gyökeresen megváltozhat a helyzet. A földi irányítási pont utasításai leegyszerűsödnek a repülési irányt, vagy elérendő koordinátát meghatározó, módosító parancssá. A fedélzeti számítógép ez alapján, figyelembe véve a repülés pillanatnyi paramétereit, ismerve az UAV lehetőségeit, újra meghatározza a megkövetelt repülési sebességet, az új irányt, kidolgozza és megkezdi a szükséges manővereket. Az UAV fedélzetéről a földi irányító pontra sugárzott repülési paraméterek inkább tájékoztatják a kezelőt, mint megkövetelik a közvetlen irányítást (3. ábra).

Ez a rendszer számos hátrány felszámolását célozza meg. Az UAV kezelőnek nem egy pilóta, sokkal inkább egy repülésirányító feladatait kell ellátnia, eltekintve a felszállás és a leszállás fázisától. Megadja a repülési útvonalat, majd felügyeli a végrehajtást. Jelentős terhermentesítést ad a fedélzeti irányítóberendezés, ezért egy kezelő elvileg alkalmassá válhat

több UAV repülésének egyidejű felügyeletére, miközben az UAV szerkezeti biztonságáról, a manőverek biztonságos kidolgozásáról a fedélzeti számítógép gondoskodik.

A fedélzeti számítógép, vagy egy, a földi irányító ponton telepített számítógép azt a feladatot is elláthatja, hogy a különböző (földrajzi és vetületi) koordináta-rendszerek közötti koordináta-transzformációt elvégezze az egységes értelmezés érdekében, így könnyebbé válhat az útvonal tervezése és a repülés végrehajtásának figyelemmel kísérése.

Az ilyen rendszer sokkal védettebb az időszakos összeköttetés kiesésével szemben. A fedélzeti számítógép előre kidolgozott algoritmusok alapján felkészíthető arra, hogy tartósabb kapcsolathány esetén átvegye az irányítást. A zavarállóság növekedése mellett a vakrepülés is bizonyos szintig megvalósítható, ugyanakkor továbbra is megoldatlan problémaként merül fel a terepkövető, vagy a kismagasságú repülés biztonságának kérdése.



3. ábra. UAV irányítása robotpilóta alkalmazásával¹⁶

¹⁶ Készítette: Horváth Zoltán

A negyedik irányítási módszer a teljesen autonóm repülés lehet, amely tulajdonképpen a harmadik eset egy speciális megvalósulása. Ekkor a földi felprogramozás után már semmilyen parancsjel nem érkezik a fedélzetre, a fel-és leszállás is automatikus. Ilyen esetben minden döntési funkciót a fedélzeti robotpilóta egység lát el. Ha kritikus helyzetet észlel és ezek kezelésére fel van készítve, akkor a különféle vészhelyzeti algoritmusok szerint jár el. A rádióösszeköttetés megvalósíthatóságának vizsgálatát ez az eset azért nem képezi, mert alapesetben nincs, illetve nem feltétlenül szükséges rádiókapcsolat létesítése a teljesen autonóm UAV-val.

1.2. A rádiócsatorna és a terepdomborzat

Rádióösszeköttetések tervezése és fenntartása során a legszűkebb keresztmetszet a rádiócsatorna. A földi irányító pont és az UAV, mint a rádiócsatorna két végpontja rendszerelem, emberi tervezés eredménye. Tulajdonságaik méretezhetők, tervezhetők. Ezt a két szerelemet köti össze az a rádiócsatorna, amely az átvitel „leggyengébb láncszeme”. Tulajdonságainak leírására, jellemzésére a szakaszcsillapítást, mint változó paramétert használjuk.

A kis-és közepes magasságon repülő pilóta nélküli repülőgépekkel való rádiókapcsolat létesítése során számos olyan tényező figyelembe vétele szükséges (terjedési mód, a föld vezetőképessége, a nagy áthidalandó távolság miatt a földgömbület, a domborzat okozta többletcsillapítás, és a talajreflexió hatása, a légkör törésmutatójának változása, a légköri abszorpció, stb.) mely jelentős mértékben befolyásolja a szakaszcsillapítást.

Tekintettel arra, hogy a kis-és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek alapvetően az ultrarövid-hullámú frekvenciatartományt alkalmazzák, kutatásom során, ebből adódóan – diffrakciós terjedést feltételezve – a rádiócsatorna és a terep kölcsönhatásaként fellépő fading becslésére alkalmas hullámterjedési modelleket vizsgáltam.

1.2.1. Egy késél¹⁷ 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.

¹⁷ Késélnék nevezük azt az akadályt, melynek kiterjedése a terjedés irányában elhanyagolható. Eltérő alakú akadályokra vonatkozó adatok a fentiekől csak kismértékben térnek el [15. p. 430.]

A szabadtéri csillapítás¹⁸:

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

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

A földfelszín fölötti optikai átlátás önmagában nem elegendő a szabadtéri térerősség jelenlétehez. Az átlátás tisztasága szempontjából első közelítésben az akadályok mindaddig elhanyagolhatóak, amíg az I. Fresnel-zóna szabad. Amennyiben ez nem teljesül, a szakaszcsillapítás számítása a következőképp módosul.

A diffrakciós fading:

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

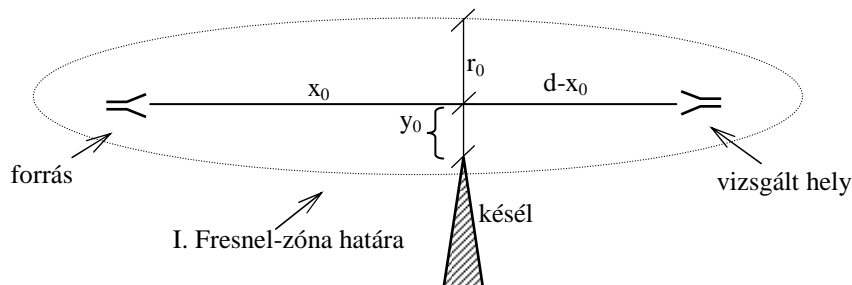
ahol: L a diffrakciós fading
 E a fading által csökkentett térerősség
 E_0 a szabadtéri térerősség

A szakaszcsillapítás:

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

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

URH és mikrohullámú frekvenciatartományban a talaj dielektrikumként viselkedik.



4. ábra. A késéldiffrakció paramétere¹⁹

¹⁸ [13. p. 578.] alapján

¹⁹ Szerkesztette: Horváth Zoltán [12. p. 35.] és [15. p. 431.] alapján

A 4. ábrán látható a rádiócsatorna vertikális síkmetszete. Igen jó közelítéssel²⁰ – horizontális terjedést feltételezve – x_0 helyen az I. Fresnel-zóna sugara r_0 . A rádiócsatorna tengelye és a késél csúcsa közötti távolság y_0 a rádiócsatorna tengelye alatt negatív, fölötte pozitív.

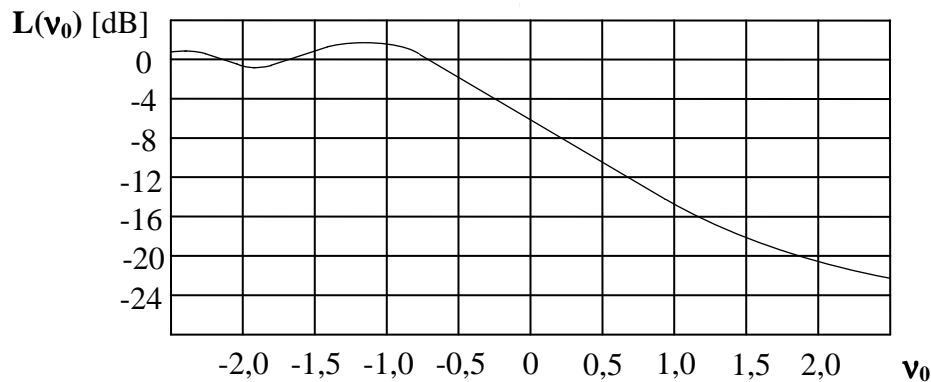
$$r_0 = \sqrt{\lambda \cdot \frac{x_0 \cdot (d - x_0)}{d}} \quad (4)$$

ahol: λ az üzemi hullámhossz
 d az összeköttetés távolsága

A 4. ábra alapján az I. Fresnel-zónába a benyúlás mértéke ν_0 ²¹ :

$$\nu_0 = \frac{y_0}{r_0} \quad (5)$$

A késél okozta fading – a benyúlás mértékének függvényében – az 5. ábrán látható. Kiszámítva ν_0 értékét az egy késél okozta fading $L(\nu_0)$ meghatározható:



5. ábra. Késél okozta fading²²

$L(\nu_0)$ függvény értelmezési tartományát felosztva az egyes tartományokhoz közelítőfüggvény rendelhető, mely segítségével ν_0 ismeretében L számítható.

²⁰ [15. p. 431.] alapján

²¹ [15. p. 432.] alapján

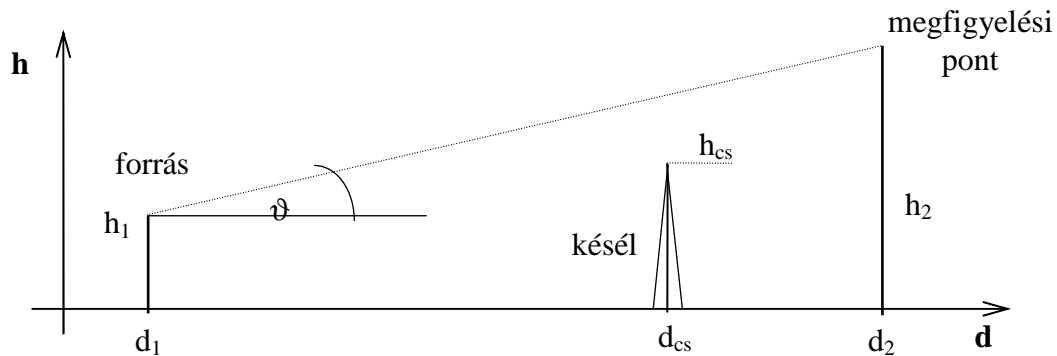
²² Szerkesztette: Horváth Zoltán [12. p. 40.] alapján

Ezek a függvények a következők²³:

$$L_{(\nu_0)[dB]} = \begin{cases} 20 \cdot \lg(1) & \nu_0 \in (-\infty; -0,8) \\ 20 \cdot \lg(0,5 - 0,62 \cdot \nu_0) & \nu_0 \in [-0,8; 0) \\ 20 \cdot \lg(0,5 \cdot 10^{-0,95 \cdot \nu_0}) & \nu_0 \in [0; 1) \\ 20 \cdot \lg\left(0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1 \cdot \nu_0)^2}\right) & \nu_0 \in [1; 2,4) \\ 20 \cdot \lg\left(\frac{0,225}{\nu_0}\right) & \nu_0 \in [2,4; \infty) \end{cases} \quad (6)$$

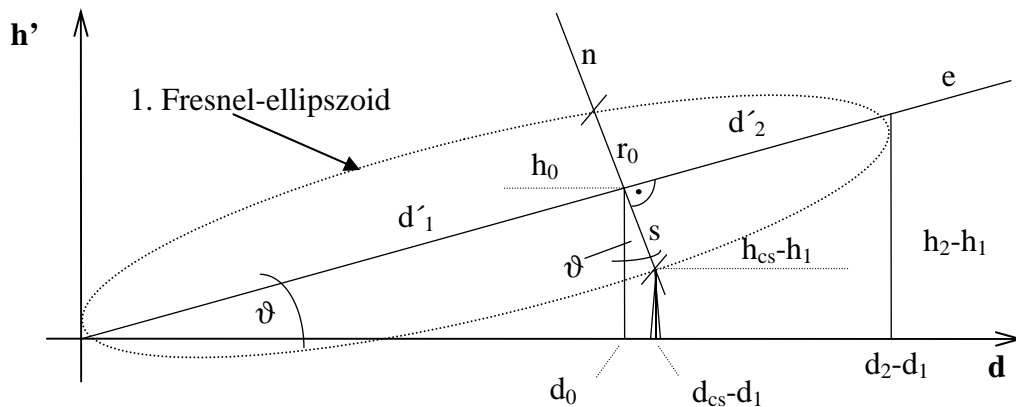
Az 5. ábra és (6) alapján elfogadott közelítés, hogy abban az esetben, ha az I. Fresnel-zóna 80 %-a szabad, a diffrakciós fading elhanyagolható.

Vizsgáljuk meg részletesebben az egy késél okozta diffrakciós fading és az I. Fresnel-zóna takarásának meghatározási módját. Egy általános elrendezés látható a 6. ábrán.



6. ábra. Késél általános elhelyezkedése a vertikális síkban²⁴

Új, eltolt koordinátarendszert alkalmazva, melynek origója a forrás helyén van, a 7. ábra adódik.



7. ábra. A diffrakciós fading meghatározásának adatai²⁵

A 7. ábra alapján alapján az e és n egyenesek metszéspontjai:

²³ [12. p. 39.] alapján

²⁴ Készítette: Horváth Zoltán

²⁵ Készítette: Horváth Zoltán

$$d_0 = \frac{\operatorname{tg}(\vartheta) \cdot (h_{cs} - h_1) + (d_{cs} - d_1)}{\operatorname{tg}^2(\vartheta) + 1} \quad (7)$$

$$h_0 = \operatorname{tg}(\vartheta) \cdot d_0$$

A diffrakciós csúcs távolsága a rádiócsatorna tengelyétől:

$$s = \begin{cases} \sqrt{(d_0 - d_{cs} - d_1)^2 + (h_0 - h_{cs} - h_1)^2} & \text{ha: } h_{cs} > h_0 \\ -\sqrt{(d_0 - d_{cs} - d_1)^2 + (h_0 - h_{cs} - h_1)^2} & \text{ha: } h_{cs} < h_0 \end{cases} \quad (8)$$

Az 1. Fresnel-zóna sugara jó közelítéssel a 7. ábra jelölésrendszere és (4) alapján:

$$r_0 = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d'_1 \cdot d'_2}{d'_1 + d'_2}} \quad (9)$$

A 7. ábrára (9) kifejezést alkalmazva az 1. Fresnel-zóna sugara (10) alapján számítható.

$$r_0 = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_0 \cdot (d_2 - d_1 - d_0)}{(d_2 - d_1) \cdot \cos(\vartheta)}} \quad \text{ha: } d_0 \in [0; (d_2 - d_1)] \quad (10)$$

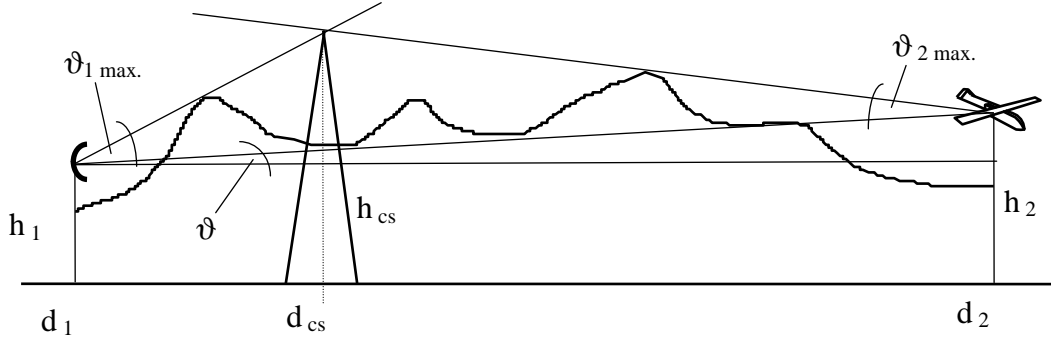
Az 1. Fresnel-zónába benyúlás mértéke (ν) a (11) egyenlet alapján számítható. A diffrakciós fading ($L(\nu)$) a (6) közelítő függvényekkel meghatározható (5) alapján.

$$\nu = \frac{s}{r_0} \quad (11)$$

1.2.2. Több késél okozta diffrakciós fading becslése, különböző terjedési modellek alkalmazásával

Rendszerint a rádiócsatornát nem egy, hanem több akadály terheli. 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.

A **Bullington modell** a rádiócsatorna két végpontjából a legmagasabb helyszög (fedési szög) alatt látható két késélt veszi figyelembe. Egyeneseket fektetve az adó és közeli késéle, valamint a vevő és közeli késéle csúcsára, az egyenesek metszéspontja jelöli ki a virtuális késél helyét és csúcsát (8. ábra). A becsült diffrakciós fading megegyezik ezen egyetlen virtuális késél okozta fadinggel.



jelölés:

h_1, h_2 : a földi irányítópont és az UAV alapfelület feletti magassága
 $\vartheta_{1\max}, \vartheta_{2\max}$: maximális fedési szög a rádiócsatorna tengelyéhez viszonyítva
 ϑ : a rádiócsatorna vízszintessel bezárt szöge

8. ábra. A Bullington modell²⁶

A szakaszcsillapítás (a_{sz}):

$$a_{sz} = a_0 - L[h_1; h'_{cs} \{ \vartheta_{1\max}; \vartheta_{2\max} \}; h_b] \quad (12)$$

A terepmetszet magassági pontjaira történő rálátás maximális helyszögének keresése ($\alpha_{1\max}, \alpha_{2\max}$) során, mivel a tangens szögfüggvény szigorúan monoton növekvő és páratlan függvény, számítástechnikai szempontból célszerű a maximális fedési szög kereséséhez a helyszögek tangensének maximumát keresni. Így ezek a paraméterek könnyen meghatározhatók.

Matematikai úton meghatározható virtuális csúcs helyzete és magassága (13).

$$h_{cs} = \frac{tg(\alpha_{2\max}) \cdot (d_2 - d_1)}{tg(\alpha_{1\max}) + tg(\alpha_{2\max})} \cdot \left[1 - tg(\alpha_{1\max}) \cdot \frac{h_2 - h_1}{(d_2 - d_1)} \right] \quad (13)$$

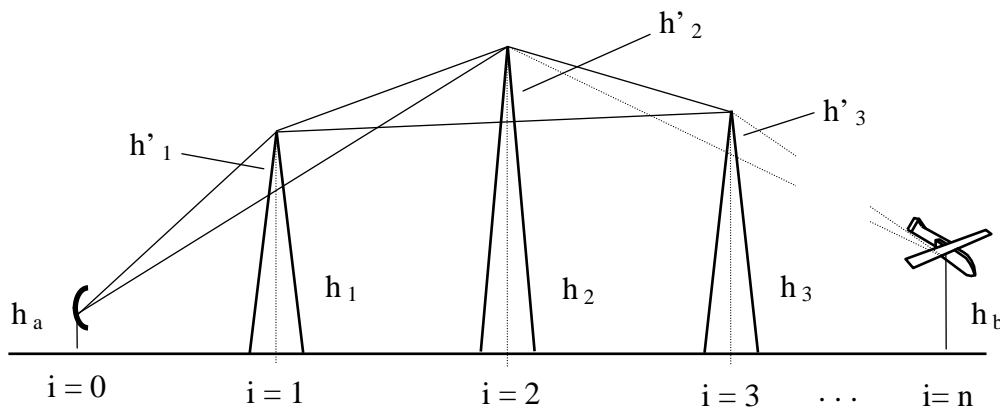
$$d_{cs} = \frac{tg(\alpha_{2\max}) \cdot (d_2 - d_1)}{tg(\alpha_{1\max}) + tg(\alpha_{2\max})} \cdot \left[tg(\alpha_{1\max}) + \frac{h_2 - h_1}{(d_2 - d_1)} \right]$$

²⁶ Szerkesztette: Horváth Zoltán [12. p. 48.] alapján

A (13) függvények nem folytonosak. Nincs megoldásuk, ha teljesül $tg(\alpha_{1max}) + tg(\alpha_{2max}) = 0$ egyenlőség. Ez az eset a feladatmegoldás során abban az esetben merül fel, ha a virtuális diffrakciós csúcs éppen érinti a rádiócsatorna tengelyét. Ebben az esetben a (13) függvények alkalmazása helyett célszerű olyan virtuális diffrakciós csúcs fadingjét elfogadni eredményül, mely csúcsra kimondjuk, hogy a Fresnel-zónába benyúlás mértéke: $\nu_0 = 0$, ebben az esetben $L_{(\nu=0)} = -6 \text{ dB}$. Így a fadingszámítás a rálátás helyszögétől függetlenül mindig elvégezhetővé válik.

Ezek után az **1.2.1. alfejezetben** ismertetettek alapján a diffrakciós fading meghatározható.

Az **Epstein-Peterson modell** alapján a terepmetszet csúcsain végighaladva az aktuális csúcst megelőző és az azt követő csúcsok lesznek az I. Fresnel-ellipszoid gyújtópontjai, az aktuális csúcs pedig a terjedést akadályozó késél. Az így számított diffrakciós fadingek összege adja az eredő diffrakciós fadinget. A modell a 9. ábrán látható, működése a 10. ábrán kísérelhető figyelemmel.



9. ábra. Az Epstein-Peterson modell²⁷

A szakaszcsillapítás:

$$a_{sz} = a_0 - \sum_{i=1}^{n-1} L(h_{i-1}; h'_i; h_{i+1}) \quad (14)$$

A 10. ábrán az Epstein-Peterson modell folyamatábrája látható, amely az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai a terepmetszet mentén a két végpont (adó- és vevőantenna, antennamagasságokkal), a diffrakciós csúcsok helyzete és magassága, mely adatok sorrendje az adóantennától a vevőantenna irányában szekvenciálisan tárolt.

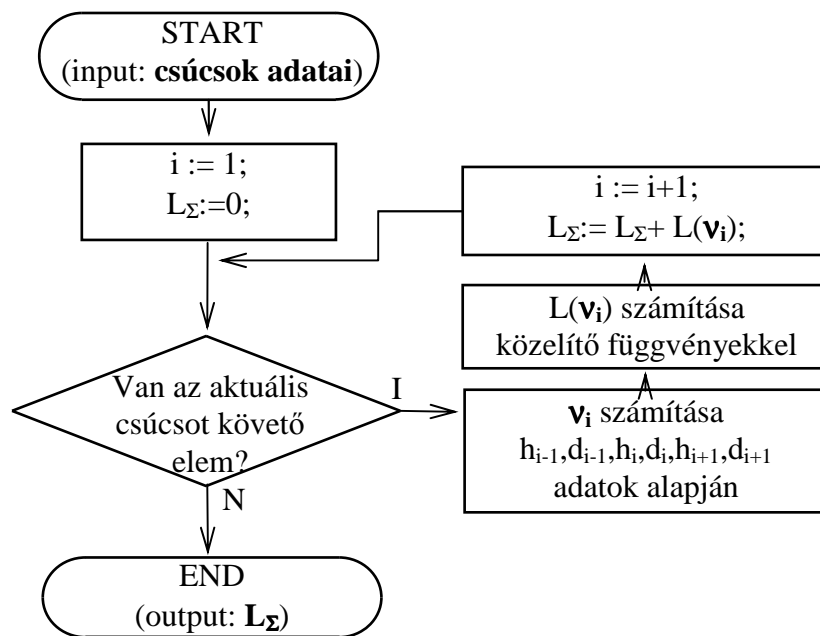
²⁷ Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 48.] alapján

Kiinduló adatként a végeredményben szereplő diffrakciós fading kezdőértéke 0 dB. Ha van, legyen az aktuális csúcs az adóantennától a vevőantenna felé haladva az első csúcs.

Ha van aktuális csúcs, akkor ez a csúcs, mint diffrakciós fadinget okozó késél, az azt megelőző, illetve az azt követő csúcsok mint adó- és vevőantenna kerülnek figyelembe vételre. Alkalmazva az egy késél okozta diffrakciós fading számítására alkalmazott közelítő függvényeket (6) a végeredményben szereplő diffrakciós fading értékéhez ezen egy késél okozta diffrakciós fading értéke kerül hozzáadásra.

Ha a vizsgált diffrakciós fadinget okozó csúcson kívül a vevőantenna irányába haladva van még további csúcs, úgy azt kijelölve diffrakciós fadinget okozó késélként az előző bekezdésben foglalt műveletek mindaddig végrehajtásra kerülnek, míg a vevőantennáig találunk aktuális csúcsot.

Az algoritmus kimenő adata a modell által becsült diffrakciós fading.



10. ábra. Az Epstein-Peterson modell folyamatábrája²⁸

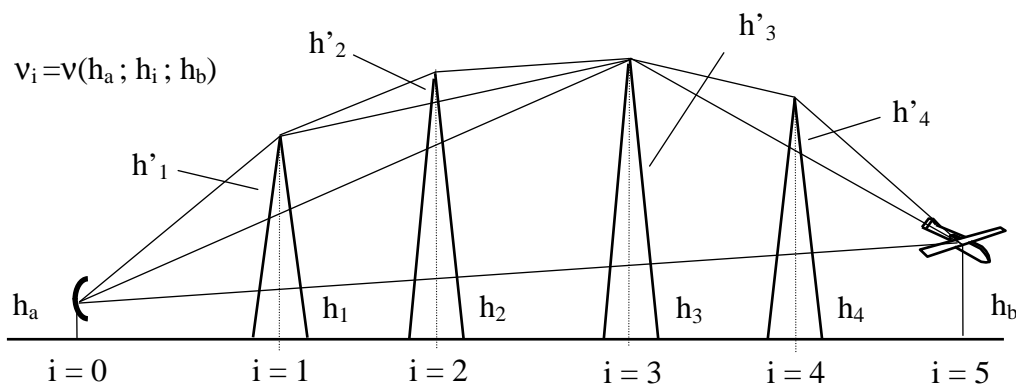
A **Deygout modell** alkalmazása során a terepmetszet, mint vizsgált tartomány egy intervallumot képez. Az I. Fresnel-ellipszoid gyújtópontjai az intervallum határain az antennák (később csúcsok) magasságában találhatók.

Az intervallum valamennyi csúcsán végighaladva meghatározzák a maximális fadinget okozó csúcs helyét (a benyúlás mértéke, ν_0 alapján). Az eredeti intervallumot a maximális

²⁸ Készítette: Horváth Zoltán

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 11. ábrán látható, működése a 12. ábrán kísérhető figyelemmel.



jelölés:

- \mathbf{h} : a Fresnel-ellipszoidok gyújtópontjai
- \mathbf{h}' : a Fresnel-ellipszoidok nagytengetyétől mért távolság

11. ábra. A Deygout modell²⁹

A 12. 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).

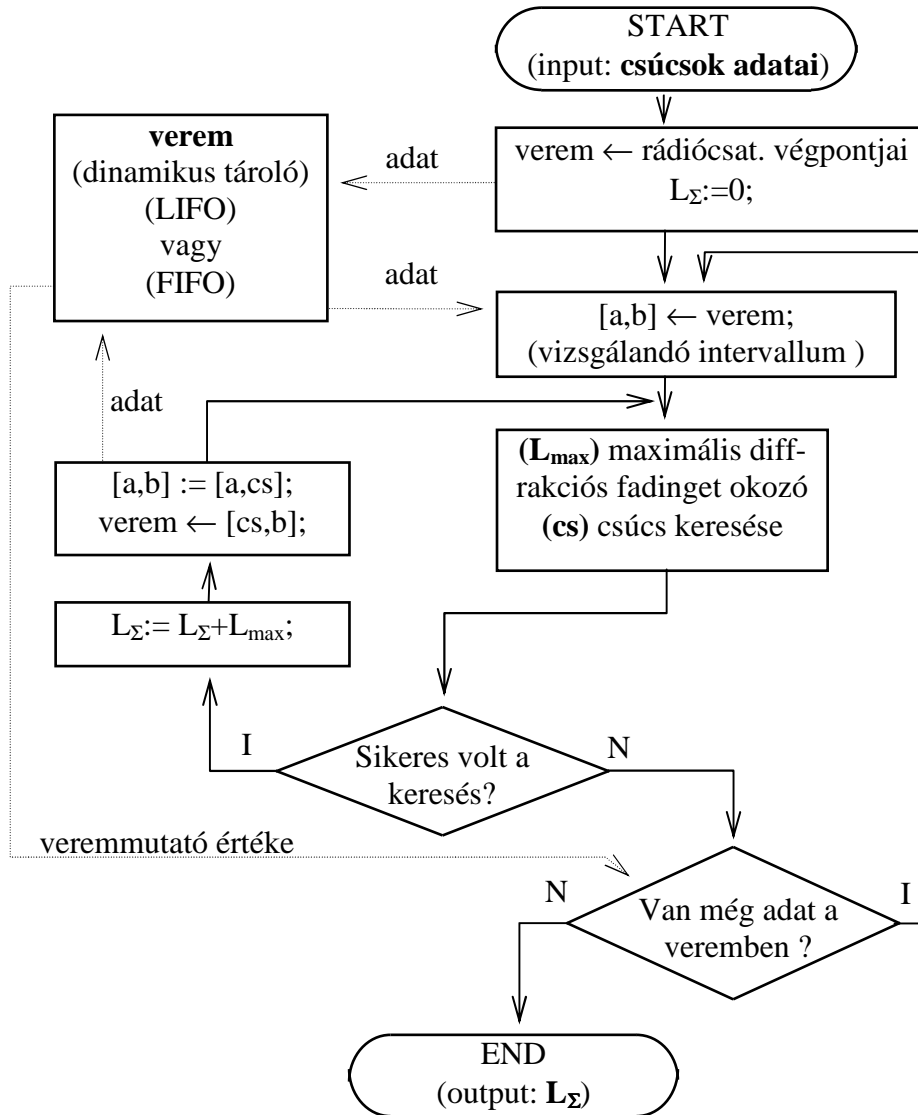
Ha van, megkeressük a maximális diffrakciós fadinget okozó csúcsot. Ezt követően az intervallumhatárookra, mint adó- és vevőantenna, valamint a domináns csúcsra az egy késél okozta diffrakciós fading számítására alkalmazott közelítő függvényekkel (6) meghatározásra kerül a diffrakciós fading, mely hozzáadásra 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

²⁹ Szerkesztette: Horváth Zoltán [12. p. 51.] alapján

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.



12. ábra. A Deygout modell folyamatábrája³⁰

A szakaszcsillapítás:

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

³⁰ Készítette: Horváth Zoltán

ahol példaként a 11. ábra alapján feltételezve, ha $v_3 > v_1 > v_2$ és $v_3 > v_4$ akkor:

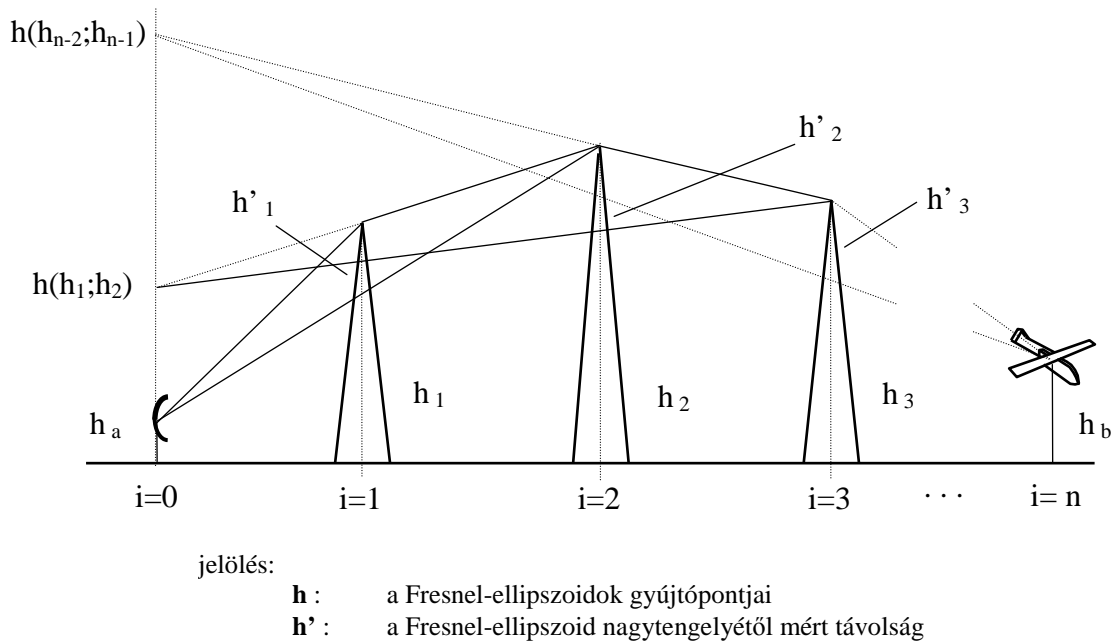
$$v'_3 = v(h_a ; h'_3 ; h_b);$$

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

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

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

A **Japán modell**, alkalmazása során, a terepmetszet csúcsain végighaladva, az I. Fresnel-ellipszoid gyújtópontjait az aktuális csúcsot követő csúcsra, valamint a kiindulási pont felett, az aktuális csúcsra és az azt megelőző csúcsra fektetett egyenes által kimetszett magasságba (14. ábra) és (17) helyezi, az aktuális csúcs pedig a terjedést akadályozó késél. Az így számított diffrakciós fadíngék összege adja az eredő diffrakciós fadinget. A Japán modell a 13. ábrán látható, működése a 15. ábrán kísérhető figyelemmel.

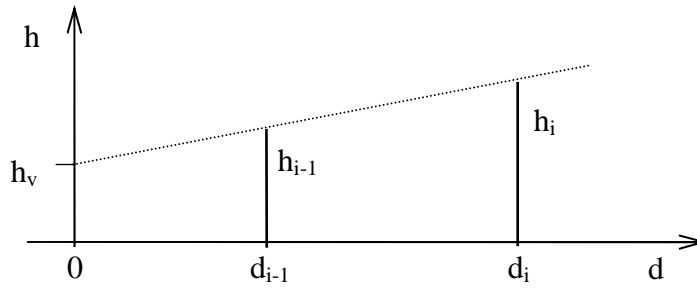


13. ábra. A Japán modell³¹

A szakaszcsillapítás:

$$a_{sz} = a_0 - \sum_{i=1}^{n-1} L(h\{h_{i-1}; h_i\}; h'_i ; h_{i+1}) \quad (16)$$

³¹ Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 49.] alapján



14. ábra. A virtuális antennamagasság kijelölése³²

A virtuális antennamagasság számítása:

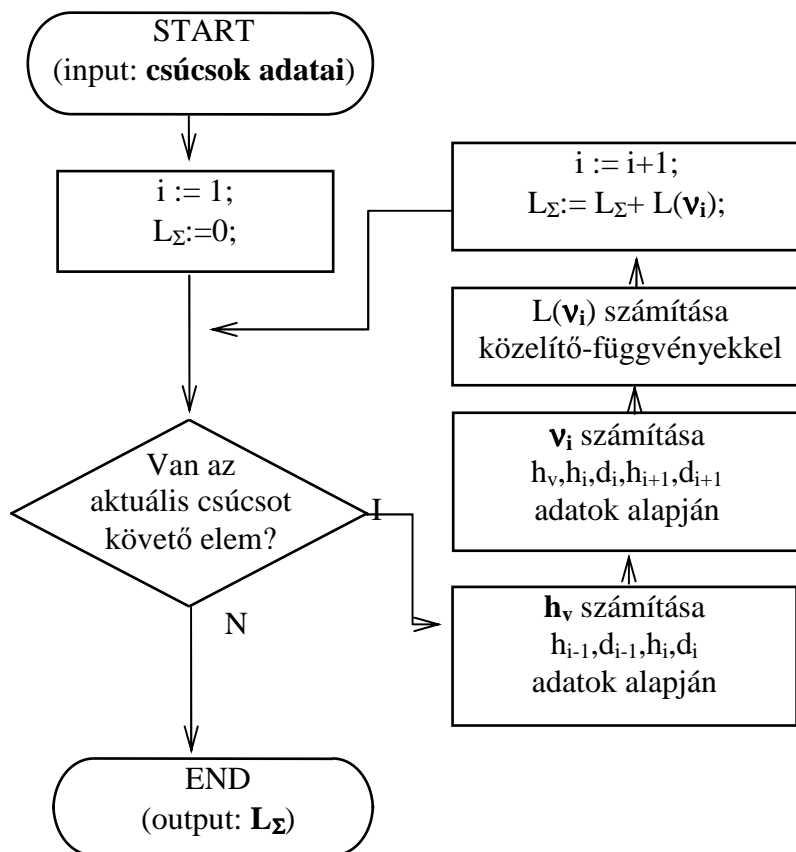
$$h_v = h_i - \frac{h_i - h_{i-1}}{d_i - d_{i-1}} \cdot d_i \quad (17)$$

A 15. ábrán a Japán modell folyamatábrája látható, amely 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. Ha van, legyen az aktuális csúcs az adóantennától a vevőantenna felé haladva az első csúcs.

Ha van aktuális csúcs, akkor a rádiócsatorna mentén az adóantennától a vevőantenna felé haladva az aktuális csúcsot, mint diffrakciós fadinget okozó késélt, az adóantennát, illetve az aktuális csúcsot követő csúcsot, mint vevőantennát vesszük figyelembe. Az egy késél okozta diffrakciós fading számítására alkalmazott közelítő függvényekkel (6) kiszámításra kerül az egy késél okozta diffrakciós fading, mely hozzáadásra kerül a végeredményben szereplő diffrakciós fading értékéhez. Az aktuális és az azt követő csúcsra fektetett egyenessel visszametszve az adóantenna helyére, meghatározásra kerül az adóantenna virtuális magassága.

Ha a vizsgált diffrakciós fadinget okozó csúcson kívül a vevőantenna irányába haladva van még további csúcs, úgy azt kijelölve diffrakciós fadinget okozó késélként az előző bekezdésben foglalt műveletek mindaddig végrehajtásra kerülnek, míg a szekvenciális adatállomány végére nem érünk. Az algoritmus kimenő adata a modell által becsült diffrakciós fading.

³² Készítette: Horváth Zoltán



15. ábra. A Japán modell folyamatábrája³³

1.2.3. A modellező program futtatásainak tapasztalata

A terjedési modelleket algoritmizálását követően egy általam készített számítógépes program segítségével összehasonlítottam a modellek által becsült diffrakciós fadindexek értékeit [M1]. Az (M-1. ... M-3.) ábrák.

Az oldal középső részén található ábrán a felső diagram a tervezett rádiócsatornára vonatkoztatva mutatja meg a tereppontok hullámterjedést befolyásoló hatását, mely alapján a diffrakciós csúcsok és azok dominanciája megállapítható. Az alsó diagramon a rádiócsatorna vertikális metszete található, melyen feltüntetésre került a terepmetszet, a rádiócsatorna tengelye, az első Fresnel zóna és a lehetséges kijelölhető csúcsok.

Az oldal alsó részében, dominanciájuk sorrendjében figyelembe véve az adott csúcsok hatása, az egyes terjedési modellek viselkedése oszlopdiagramon került ábrázolásra. Az egyes terjedési modellek viselkedése ez alapján megfigyelhető, összehasonlítható.

³³ Készítette: Horváth Zoltán

A program által nyújtott eredmények alapján a következő megállapításokat tettem:

- a diffrakciós csúcsok dominanciájának becslése során igen nagy segítséget nyújt az I. Fresnel-zónába a benyúlás mértékét mutató függvény (ν);
- a Bullington modell alábecsüli a csillapítást, értéke kevesebb a többi modell által becsült csillapítás értékénél;
- az Epstein-Peterson modell túlbecsüli a térerősséget, tehát alábecsüli a csillapítást, ezért inkább EMC³⁴ vizsgálatok végzésére javasolt, mint az UAV-k összeköttetésének tervezésére;
- a Deygout modell túlbecsüli a szakaszcsillapítást, tehát alábecsüli a térerősséget, ezért összeköttetések számításához számunkra megfelelő lehet, mivel egyedül ez a modell mutat konvergenciát. Az Epstein-Peterson és a Japán modell eredményei között, az elhanyagolható dominanciájú csúcsokat is figyelembe véve, nagy különbségek, extrém csillapítási értékek tapasztalhatóak;
- a Deygout modell túlnyomórészt csak addig becsüli túl az Epstein-Peterson és a Japán modell által becsült csillapítást, míg csak a rádiócsatorna tengelyét takaró kérések a kiinduló adatok, illetve amíg a kérések dominanciájának tendenciája a rádiócsatorna közepétől a végpontok felé csökkenő;
- a Japán modell által becsült csillapítás nem szimmetrikus a vizsgálat irányára, vagyis nem mindegy, hogy a földi irányító ponttól végzem a vizsgálatot az UAV felé, vagy fordítva. A számítások igazolták, hogy a Japán modell a vizsgálat irányától függően az eltérés kb. 1 – 4 dB, ami esetünkben jelentős lehet.

1.3. Adatnyerés, terepmetszet készítés szabályos, raszteres Digitális Terepmodell alkalmazásával

A diffrakciós modellek algoritmizálhatóságának ismeretében, az általam kidolgozott és leprogramozott eljárások felhasználása előtt először bemutatom a szabályos raszteres Digitális Terepmodell felépítését, a magassági adatok kinyerésének lehetőségét, a kinyert adatok alapján a terepmetszet készítésének feltételeit, algoritmusát. Kutatásaim végzéséhez a

³⁴ Elektromágneses összeférhetőség, mely a rádióelektronikai eszközök kölcsönös zavarásának lehetőségét vizsgálja.

Posta Kísérleti Intézetben az 1970-es évek végén létrehozott DTM-200 adatbázist alkalmaztam melynek részletes leírása az [M2] mellékletben található.

1.3.1. Magassági adat kinyerése Digitális Terepmodellből

A DTM által tárolt adatok elérése az adatbázis megfelelő elemére mutató fájlmutató meghatározásával könnyen megvalósítható, tekintettel a szabályos rácsszerkezetű kialakításra, ismerve a támpontok méretét, a tárolás szekvenciáját és az első támpont koordinátáit.

Meghatározható, hogy adott koordinátájú támpont eleme-e a DTM-nek, és ha igen, akkor hányadik elem az adatbázisban (18).

$(\lambda; \varphi) \in \text{DTM}$ -nek, ha:

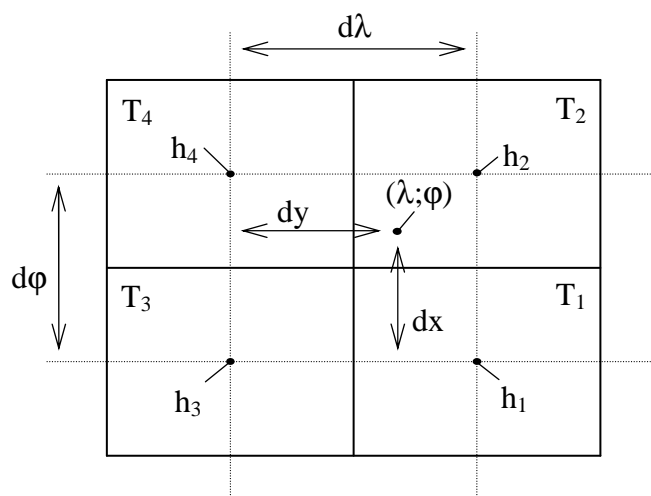
$$\lambda \in [\lambda_{\min}; \lambda_{\max}] \cap \varphi \in [\varphi_{\min}; \varphi_{\max}] \quad (18)$$

ahol: λ, φ a kérdéses pont koordinátái
 $\lambda_{\min}, \varphi_{\min}$, és $\lambda_{\max}, \varphi_{\max}$ a DTM határvonalainak koordinátái

továbbá:

$$T(\lambda; \varphi) = \text{Trunc}\left(\frac{\lambda - \lambda_{\min}}{d\lambda}\right) \cdot f_{db} + \text{Trunc}\left(\frac{\varphi - \varphi_{\min}}{d\varphi}\right) \quad (19)$$

ahol: $T(\lambda; \varphi)$ a pontot magába foglaló támpont fájlmutatója
 λ, φ a kérdéses pont koordinátái
 $\lambda_{\min}, \varphi_{\min}$ a DTM bal alsó határvonalának koordinátái
 $d\lambda, d\varphi$ a DTM vízszintes és függőleges támponttávolság
 f_{db} a DTM oszlopainak elemszáma



16. ábra. Az adott koordinátájú pont magasságának meghatározása³⁵

³⁵ Szerkesztette: Horváth Zoltán [12. p. 55.] alapján

A valós terepen a magasság, mint földrajzi koordináta függvénye folytonosan értelmezhető, de a támpontra vonatkoztatott maximális magasság diszkrét függvény. Tetszőleges, a valós számok halmazán értelmezett koordináták alapján kért pont magasságának meghatározásához ezért olyan kettős lineáris interpoláció alkalmazása szükséges, melynek visszatérési értéke támpont közepére mutató koordináták esetén maga a támponton belül mérhető maximális magasság. Ennek megoldása figyelemmel kísérelhető a 16. ábra alapján.

Adott $(\lambda; \varphi)$ földrajzi koordinátájú pont (16. ábra alapján) adatainak meghatározása során be kell olvasni feldolgozásra $T1..T4$, $(\lambda; \varphi)$ koordinátát környező támpontok magassági adatait.

A kérdéses koordináta és a környező támpontok középpontjának koordinátáiból számítható dx és dy szögeltérés értéke. Ezek alapján $(\lambda; \varphi)$ földrajzi koordinátájú pont magassága számítható (20).

$$h(\lambda; \varphi) = \left(1 - \frac{dx}{d\varphi}\right) \cdot \left(\frac{dy}{d\lambda}\right) \cdot h_1 + \left(\frac{dx}{d\varphi}\right) \cdot \left(\frac{dy}{d\lambda}\right) \cdot h_2 + \left(1 - \frac{dx}{d\varphi}\right) \cdot \left(1 - \frac{dy}{d\lambda}\right) \cdot h_3 + \left(\frac{dx}{d\varphi}\right) \cdot \left(1 - \frac{dy}{d\lambda}\right) \cdot h_4 \quad (20)$$

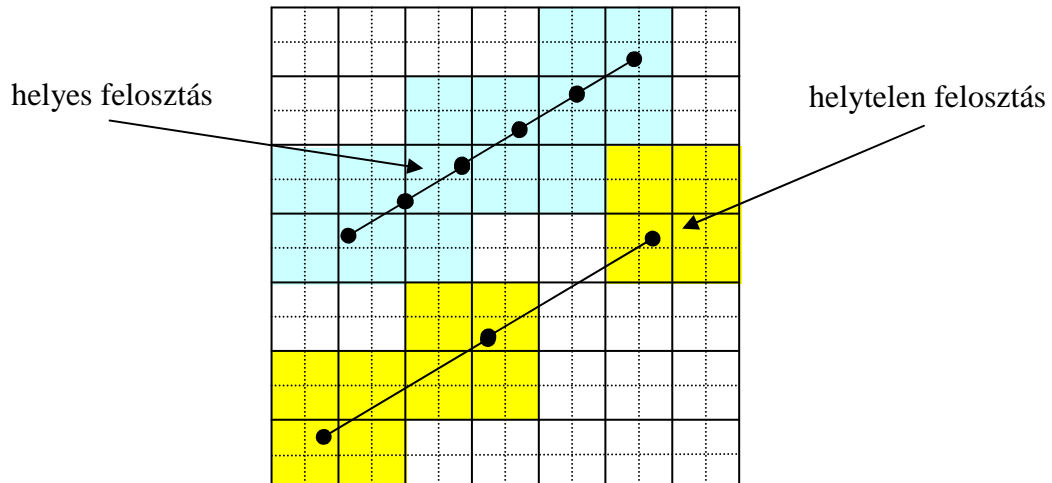
1.3.2. Terepmetszet készítése DTM alkalmazásával

Megfelelően választott lépésközzel a két kijelölt pontot összekötő szakasz mentén vertikális terepmetszet készíthető DTM alkalmazásával.

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 információvesztéshez 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 kell előállítani (17. ábra).

A különböző koordináta rendszereket vizsgálva megállapítható, hogy az azonos szögtávolság alapján felépített szabályos raszteres adatbázisok közvetlenül nem alkalmasak a

két végpont közötti legrövidebb út (ortodróma³⁶) egyszerű lineáris felosztására, ugyanis ezekben a rendszerekben az ortodróma vetülete nem egyenes. Ezt a problémát az olyan vetületi rendszerek alkalmazása hidalja át, ahol a szabályos raszter kialakításának a metrikus felosztás az alapja (pl: EOJ). Ilyen vetületi rendszerekben az ortodróma vetülete egyenes, tehát lineáris felosztása egyszerűen végrehajtható.



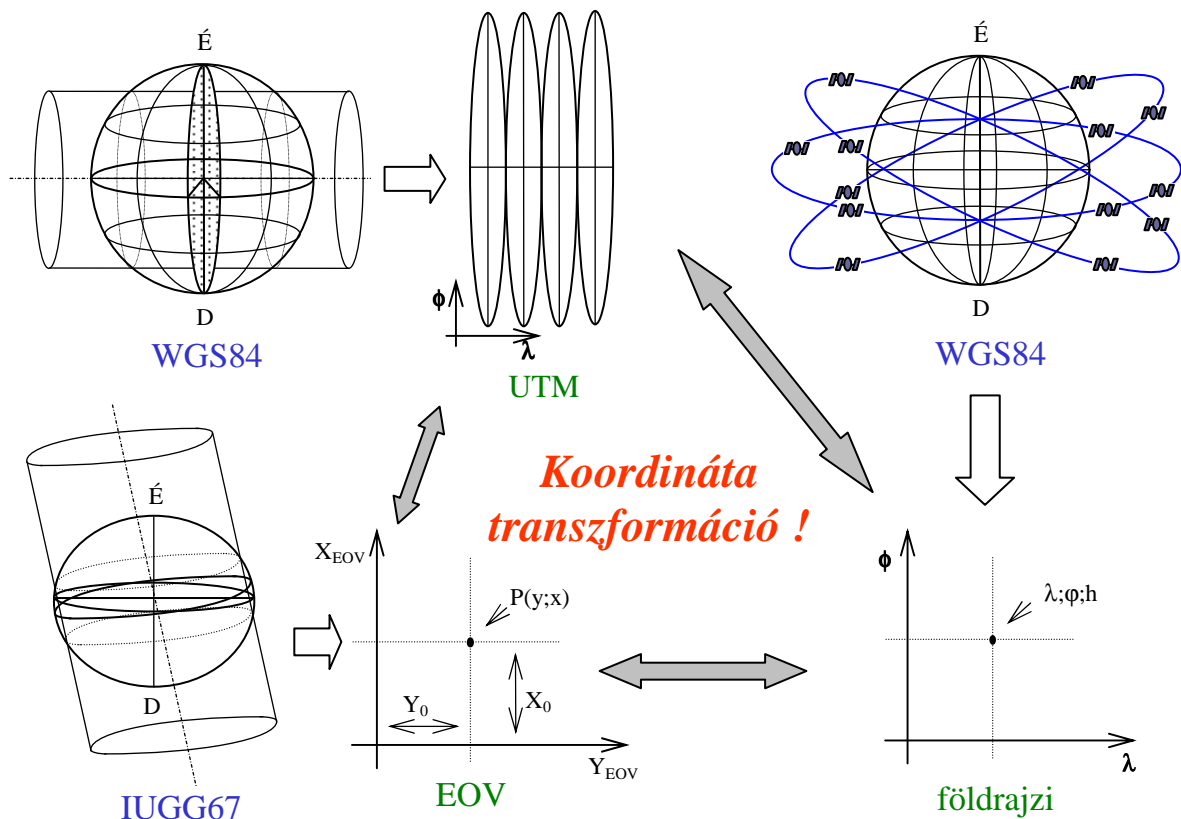
17. ábra. Terepmetszet osztópontjainak kijelölése a DTM felett³⁷

Megoldott a különböző koordináta-rendszerek közötti transzformáció lehetősége (18. ábra). A koordináta-rendszerek közötti átjárhatóság lehetőségét kiaknázva földrajzi koordináta-rendszerek és EOJ vetületi rendszer között, az osztópontok meghatározása a következő algoritmus alapján történhet:

- a két végpont földrajzi koordinátáinak beolvasása;
- a két végpont koordinátáinak transzformálása EOJ-ba;
- a két végpontot összekötő szakasz lineáris felosztása osztópontokra (EOJ-ben);
- az osztópontok koordinátáinak transzformációja földrajzi koordináta rendszerbe;
- az osztópontok magassági adatainak beolvasása földrajzi koordináta rendszerben.

³⁶ Ortodróma a neve a két felszíni pont közötti legrövidebb távolság felszíni vonalának, amely mindig egy gömbi főkör ívdarabja. Szögtartó vetületeknél vetülete görbe, távolságtartó vetületeknél vetülete egyenes. [36]

³⁷ Készítette: Horváth Zoltán



18. ábra. Koordináta rendszerek közötti átjárhatóság³⁸

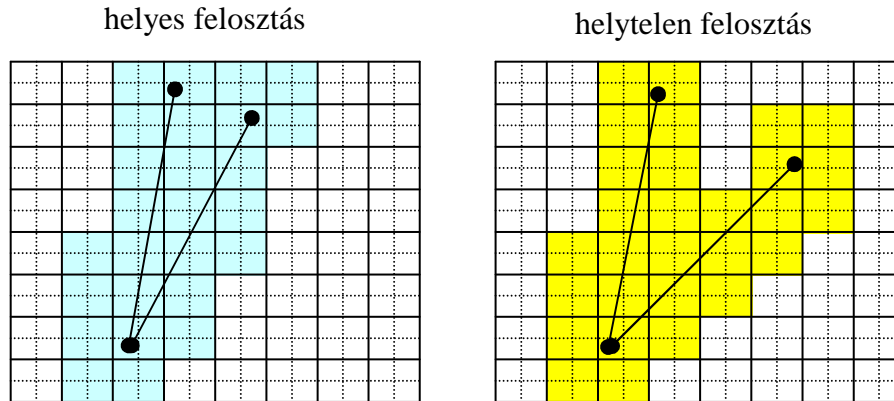
1.4. Ellátottsági- és árnyékdiagram előállítása

Az eddigiekre építkezve megalkottam a DTM alkalmazására épülő területi ellátottsági- és árnyékdiagram készítésének algoritmusát.

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.

Az információvesztés (alulmintavételezés) elkerülése érdekében továbbra sem szabad elfeledkezni arról a szemponttól, hogy a kérdéses terepszakaszon található valamennyi terepelemet érinteni kell az analízis során (19. ábra).

³⁸ Készítette: Horváth Zoltán



19. ábra. Horizontális pásztázás³⁹

Terület vizsgálata során – adott pontból megfelelően megválasztott oldalszög szerint elfordulva – megfelelő távolsáig terepmetszeteket kell készíteni. Az egyes terepmetszetek analizálása során az adott pontból, az adott ponttól távolodva, rendre meg kell határozni a szakaszcsillapítás értékét. A terepmetszet valamennyi osztópontjára meghatározott szakaszcsillapítás értékét összehasonlítva az előre definiált kritikus csillapítás értékével eldönthető, hogy a terepmetszet mely pontjai tartoznak a ellátott és melyek az árnyékszónához (20. ábra).

A kijelölt pontból a terepmetszés szükséges távolságát az energetikai határ (d_{max}) szabja meg. Az energetikai határon túl a szabadtéri csillapítás ha már önmagában eléri a kritikus (a rádiócsatorna által megengedhető maximális) értéket (21), az összeköttetés bizonytalaná válhat. Ezen távolságon belül kell a vizsgálatot elvégezni, mivel ezen a határon túl a kommunikáció nagy valószínűséggel nem valósítható meg.

$$d_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\left(\frac{a_{kritikus[dB]} + G_a[dB] + G_v[dB]}{20}\right)} \quad (21)^{40}$$

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

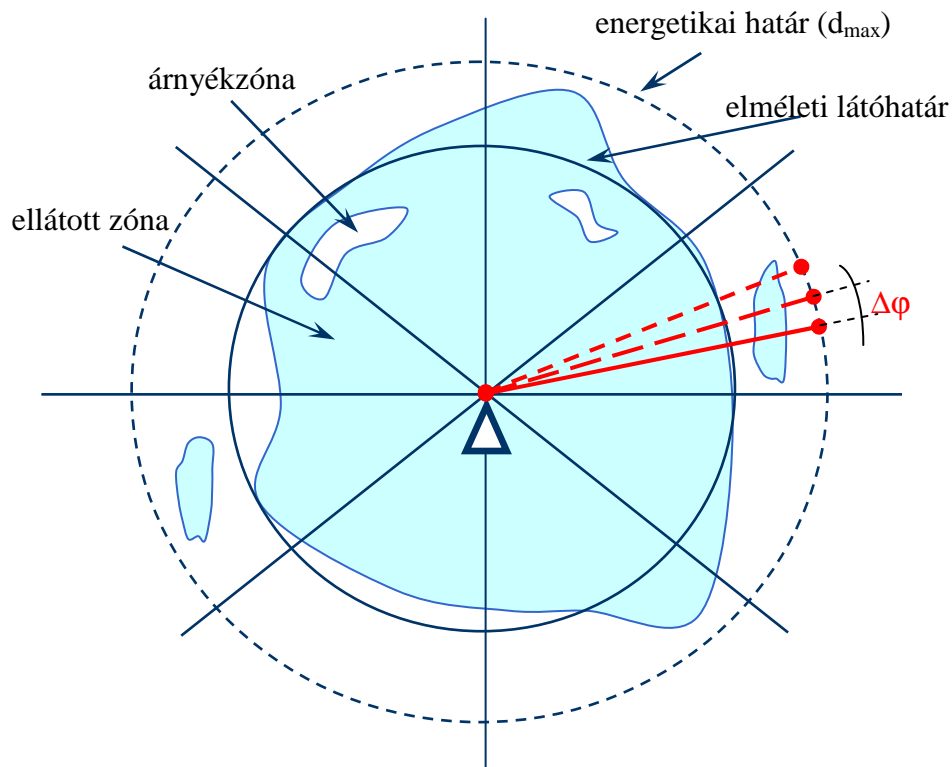
Az energetikai határ ismeretében meghatározható a pásztázás során – az egyes terepmetszetek vizsgálatához szükséges – maximális oldalszög szerinti léptetés értéke $\Delta\varphi$, mely biztosítja az információvesztés elkerülését (alulmintavételezést).

³⁹ Készítette: Horváth Zoltán

⁴⁰ (1) összefüggés alapján levezethető

$$\Delta\varphi = \arctg\left(\frac{dp}{2d_{\max}}\right) \quad (22)$$

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



20. ábra. Ellátottsági- és árnyékdíagram készítése körös letapogatással⁴¹

1.5. Következtetések

Ebben a fejezetben áttekintettem az UAV-k irányítási modelljeit. Ezek alapján bemutattam, hogy:

- a hagyományos, rádiócsatornán történő irányítás csak speciális, nagy tapasztalattal rendelkező szakemberek alkalmazásával valósítható meg;
- a fedélzeti kompakt eszközök alkalmazása lehetővé teszi az optikai rálátás határán túl az irányítási feladatok végrehajtását olyan szakemberek számára, akik nincsenek a légi üzemeltetés feltételeihez kötve;
- a fedélzeti kompakt eszközök és a földi irányító pont adatainak fedélzeti számítógép által történő feldolgozása lehetővé teszi a manőverek parancs alapján történő automatizált kivitelezését, az irányítás folyamatos felügyeletéről a be-

⁴¹ Készítette: Horváth Zoltán

avatkozás szintjére történő visszalépést. Ez lehetőséget biztosíthat egy irányító személy által több UAV feladatai végrehajtásának koordinálására;

- a fedélzeti számítógép által tárolt adatok lehetővé teszik az autonóm feladat végrehajtást (engedd el, és várd, amíg visszaérkezik), ami a felderítés és az elektronikai ellentevékenység szempontjából a legkevésbé támadható üzemmód;
- megvizsgáltam az egyes terjedési modelleket, ismertettem algoritmizálásuk lehetőségét;
- megfogalmaztam a vertikális terepmetszet és a területi- ellátottsági diagram készítésének algoritmusát.

Ezek alapján megállapítottam, hogy:

- az általam vizsgált terjedési modellek közül a Deygout modell a legalkalmasabb az ellátottsági- és árnyékdiagramok készítésére konvergens, valamint a szakaszcsillapítás becslésének jellege miatt, mivel a számított eredményekben kapott csillapítása tartalékokat tartalmaz;
- az ellátottsági- és árnyékdiagramok Digitális Domborzat Modell alkalmazásával az UAV-k repüléstervezésének során hagyományos informatikai eszközökkel elkészíthetők, tehát kiegészítésként olyan UAV rendszerekhez is használható ezen eljárás, amelynél egyébként nem lenne mód utólagos fejlesztésre;
- az ellátottsági- és árnyékdiagramok alkalmazása elősegíti azon repülési útvonalszakaszok előrejelzését, azonosítását, ahol az összeköttetés bizonytalanná válhat, szükséges lehet az elkerülő manőver vagy az autonóm üzemmód megvalósítása, illetve az UAV által szolgáltatott adatok vétele megghiúsulhat.

A fenti vizsgálatok során az összeköttetési modellben a van/nincs összeköttetés állapotokat különböztettem meg az egyszerűsítés kedvéért. A gyakorlatban ezen két állapot közötti átmenet során folyamatos minőségbeli változás lép fel, amely esetén elméletileg lehetőség lenne a kommunikációs csatornák prioritási sorrendjének megfelelő lezárására, ha erre felkészített fedélzeti logika áll rendelkezésre. Ilyenkor az összeköttetés romlása mértékében a prioritási sorrendnek megfelelően, rendre szakad le a rádiócsatornáról pl. először a legnagyobb sávzélesség igényű fedélzeti képtovábbítás, majd a meghatározott fedélzeti eszközök jelátvittele, és legutoljára az irányító csatorna. Ennek kezelése, korrekt matematikai leírása azonban egy új értekezés tárgya is lehetne.

2. Repülési útvonal tervezése Digitális Domborzat Modell alkalmazásával

A jelenlegi korszerű UAV-k már rendelkeznek azzal a képességgel, hogy fedélzeti számítógépükbe töltött térbeli koordináták alapján önállóan repüljék be a részükre előzetesen meghatározott útvonalat (3. ábra).

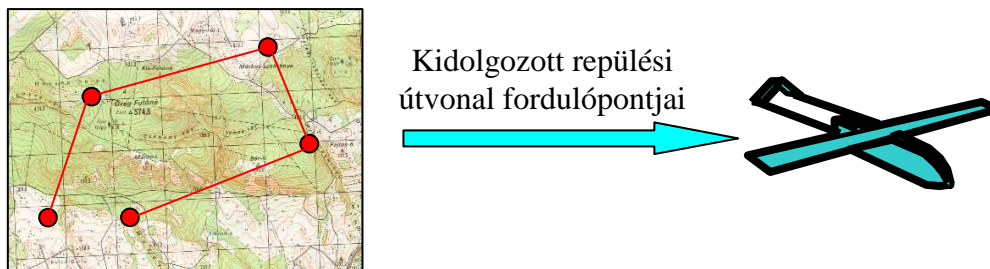
Fedélzetükre telepített GPS vevő a frissítési rátának megfelelően időről-időre közli a pillanatnyi koordinátákat. A GPS vevő mellett más típusú, pl. barometrikus magasságmérő is szolgáltat magassági adatot. A GPS adatok, vagy a fedélzetre telepített pitot-cső nyomásmérési adatai alapján kontrollálható a repülési sebesség.

A fedélzeti számítógép ezen adatok alapján manőverezi az UAV-t az előre beprogramozott repülési útvonal pontos követése érdekében, felügyeli a megkövetelt magasság tartását és a hajtómű teljesítményének szabályozásával tartja a repülési sebességet. Ideális esetben az UAV autonómiája ennek következtében biztosítható, de az UAV repülési paramétereinek figyelembe vétele és a repülési magasság meghatározása emberi szubjektivitással terhelt.

Ebben a fejezetben azt tűztem ki célként, hogy az előzetesen meghatározott repülési útvonal vetületi koordinátái alapján olyan szekvenciálisan tárolt térbeli (magassági adatot is tartalmazó) koordinátákat tartalmazó útvonalat hozzak létre, amely az emberi hibátényezőt kiküszöbölve, biztonságos repülési magasságú útvonalprofilot biztosít az UAV részére.

2.1. *A hagyományos repülési útvonaltervezés problémaköre a repülés biztonsága szempontjából*

Hagyományos útvonaltervezés során a repülési feladatot tervező személy kétdimenziós térkép alapján (papírsíkon, vagy képernyőn) hajtja végre a repülési útvonal tervezését (21. ábra).



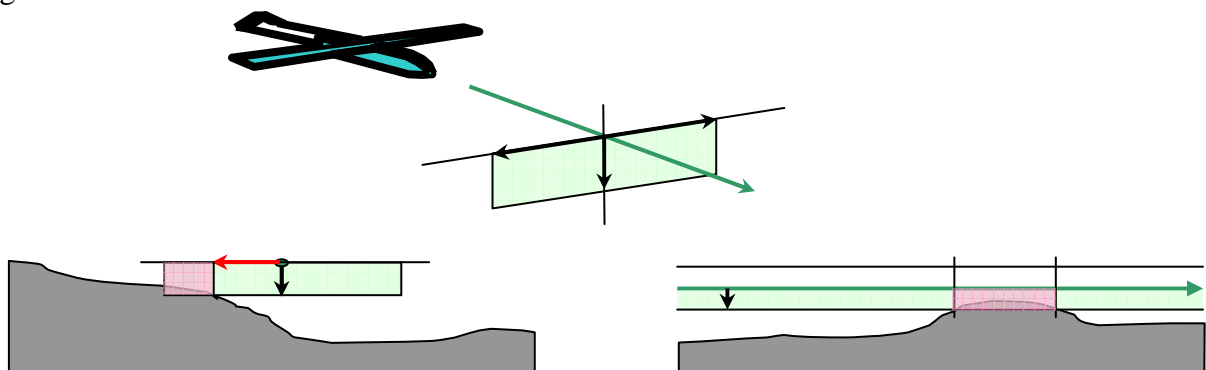
21. ábra. Hagyományos útvonaltervezés⁴²

⁴² Készítette: Horváth Zoltán

Repülés szempontjából alapvető fontosságú a biztonságos, felszín feletti minimális repülési magasság meghatározása. A térképeken az ehhez szükséges információk természetesen rendelkezésre állnak (pl.: szintvonalak formájában), a háromdimenziós információ megjelenik a kétdimenziós térképen, vagy a monitor képernyőjén, de kiértékelésük időigényes, nehézkes, nagy hibalehetőséggel terhelt. Az UAV részére az aktuális megkívánt repülési magasságra vonatkozó adatok csak egy alapfelület feletti magasságként jelentkeznek. Ez alapján az UAV képtelen figyelembe venni, hogy a részére kijelölt repülési magasság és a felszín között valóban létezik-e egy vertikális távolságtartalék, mely biztosítja, hogy kedvezőtlen légáramlat esetén is képes legyen a korrekcióra, az akadályok biztonságos átrepülésére.

További problémaként merül fel, hogy az UAV a turbulencia, széllekökések, technikai korlátok miatt mennyire sodródhat el a kijelölt útvonaltól, mire a fedélzeti automatika visszatéríti eredeti pályájára. Ez a feladat-végrehajtás során az UAV környezetében feltételez egy adott szélességű horizontális távolságtartalékot, melyen belül nem lehet akadály, aminek az UAV nekisodródhat. Ennek ember által történő figyelembe vétele még problémásabb (22. ábra). Nem szabad elfelejteni, hogy az UAV emelkedési és süllyedési képessége korlátozott. Az előre látható akadály átrepüléséhez szükséges emelkedést az UAV képességének megfelelően, időben meg kell kezdeni, süllyedése során a repülési sebesség kézben tarthatóságát kell szem előtt tartani. Fenti szempontok figyelembe vételével repülési útvonal tervezhető, mely biztosít az UAV körül egy szabad teret, mely térben történő repülés végrehajtására az UAV képes, ezzel elkerülve a domborzat okozta veszélyt.

Nem elég körültekintő megoldás az, ha a terep lehetséges legmagasabb pontja fölé emeljük a repülőgépet és így kívánjuk a biztonságos magasságtartalékot garantálni, mivel a mélyebben fekvő területek felett felesleges és pl. a felderítési küldetést megghiúsító magasságon haladhatunk.



22. ábra. A repülés irányára merőleges horizontális és vertikális biztonsági távolságtartalék⁴³

⁴³ Készítette: Horváth Zoltán

Az UAV környezetében a szabad tér biztosítása előírt utazómagasságról történő emelkedéssel, majd az akadályt elhagyva előírt utazómagasságra történő süllyedéssel biztosítható. Magassági adatot beépítve az előzetes útvonaltervbe, az akadályok biztonságosan átrepülhetővé válnak. Ha nincs előírt utazómagasság, akkor az útvonaltervezés csak a terepdomborzat figyelembe vételére terjed ki, vagyis az UAV terepkövető módban repül.

Az útvonal tervezési lépései a következők:

- megfelelő finomságú mintavétel alapján a repülési útvonal osztópontokkal történő felosztása;
- a minimális repülési magasság meghatározása a horizontális távolságtartalék biztosítása érdekében;
- a repülési magasság szükség szerinti növelése a vertikális távolságtartalék biztosítása érdekében;
- a repülési magasság szükség szerinti növelése az UAV süllyedési és emelkedési képességeit figyelembe véve;
- a repülési magasság szükség szerinti növelése, ha előírt magasságú útvonalrepülés a feladat.

2.2. Megfelelő finomságú mintavétel

A terepmetszet készítésének kiinduló adatai a tervezett repülési útvonal vertikális vetületének koordinátái (startpont, fordulópontok, végpont), és a DDM támpontjainak mérete (a támpont ideális esetben négyzet, tehát ennek a négyzetnek az élhossza). Az általam készített számítógépes program az EOVS koordinátarendszert alkalmazza, tehát ennek megfelelően: az Y tengely a keleti irány, az X tengely az északi irány (eredményként jelentkező H a Balti alapszint felett mért magasság). A program a DDM-50 adatbázist alkalmazza, ahol a cellaméret 50 m [M3].

Az alul-mintavételezés elkerülése érdekében meg kell állapítani, hogy a repülési útvonal mentén két szomszédos mintavételi pont között mekkora lehet a maximális távolság. Alapvető szempont, hogy metszetkészítés során a vetület mentén nem maradhat olyan támpont, melynek magassági adata nem került feldolgozásra. A repülési útvonal a vetületi koordináták alapján repülési útvonalszakaszokra bontható ([startpont ; fordulópont₁] ... [fordulópont_k ; fordulópont_{k+1}] ... [fordulópont_n ; végpont]).

A repülési útvonalszakaszon belül a mintavétel lépésköze (ds) meghatározható (23).

$$ds = \frac{s}{n+1} \quad \text{és:} \quad n = \frac{s}{dp}, \quad \text{tehát:} \quad ds = \frac{s \cdot dp}{s + dp} \quad (23)$$

ahol: ds két mintavételi pont közötti megkövetelt távolság
 s a repülési útvonalszakasz hossza
 dp az alkalmazott DDM támpontmérete

Ennek ismeretében (ds) lépésközzel végighaladva a repülési útvonalszakaszok vetületén, a szükséges osztópontok koordinátái meghatározhatók. Az osztópontok távolsága az egyes útvonalszakaszokon belül állandó, az útvonalszakaszok a fordulópontoknál összeköthetők.

A megfelelő finomságú mintavételt biztosító algoritmus működése a 23. ábrán kísérhető figyelemmel. Az algoritmus az útvonal vetületi koordinátáiból alkotott szekvenciális adatláncból számítja ki az osztópontok koordinátáit, amely vetületi koordináták szintén a szekvenciális adatláncként kerülnek tárolásra.

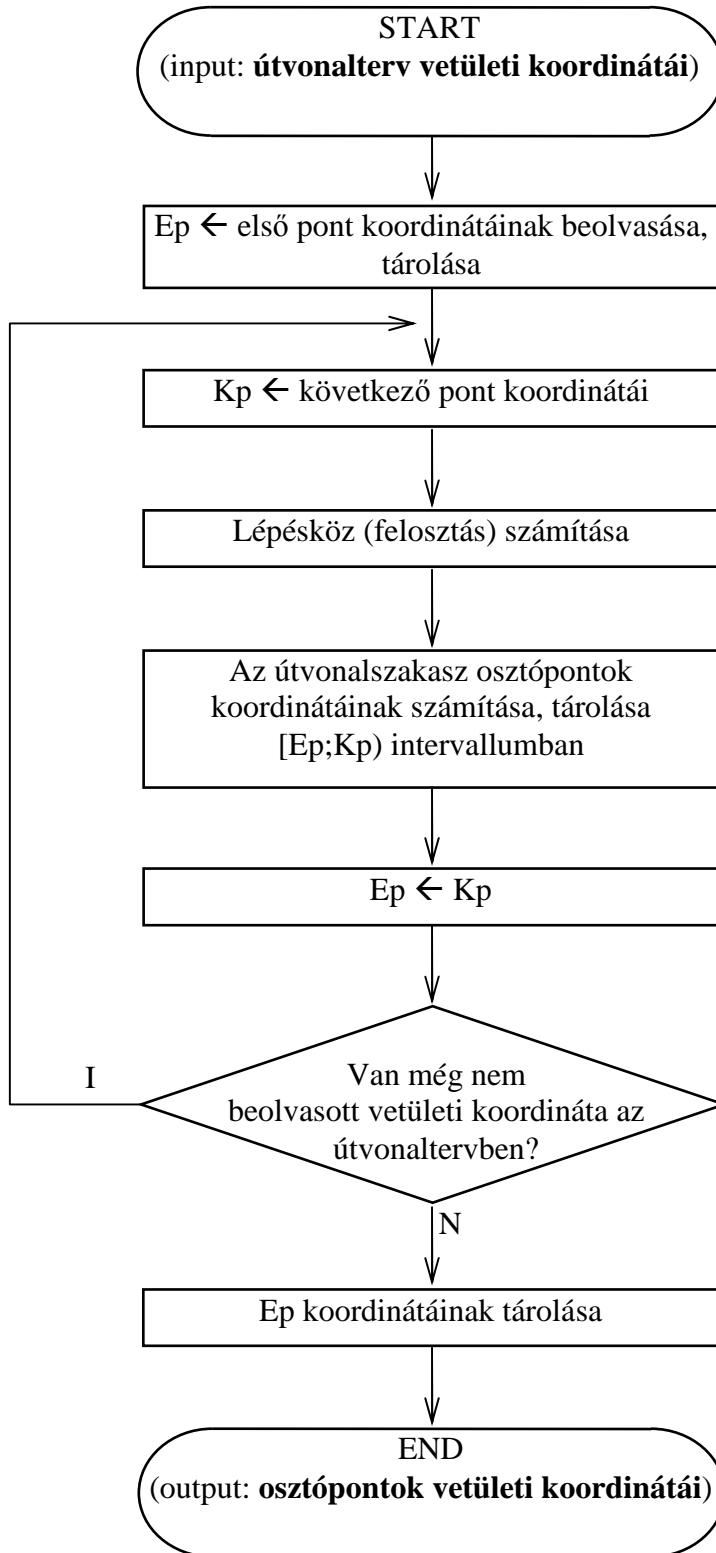
A 23. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az útvonalterv szekvenciálisan tárolt vetületi koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszokat összekötő fordulópontok, valamint a leszállás helyszínének koordinátái). A feldolgozás a kezdőpont (felszállás helyszíne) koordinátáinak beolvasásával indul, mely kimenő adatként tárolásra is kerül.

A következő fordulópont beolvasása. A kezdőpont és a következő pont távolságának számítására azért van szükség, mert a DDM támpontméretének ismeretében a 23. egyenlet alapján meghatározható az útvonalszakasz osztópontokra történő felosztási finomsága, a lehető maximális mintavételi távolság. Ez garantálja, hogy az útvonalszakasz mentén valamennyi érintett támpont adatai feldolgozásra kerüljenek, nem történik alulmintavételezés. A mintavételi távolság ismeretében következik az útvonalszakasz osztópontokra történő feldarabolása, az osztópontok koordinátáinak haladási irány szerint a kimenő adatokhoz fűzése.

A következő vizsgálandó útvonalszakasz kezdőpontja legyen a vizsgált útvonalszakasz végpontja. Ezt követően az előző bekezdésben foglalt feladatok mindaddig ciklikusan végrehajtásra kerülnek, amíg az útvonaltervben van még be nem olvasott koordináta.

Az utolsó útvonalszakasz végpontja már a leszállás helyszíne, melynek koordinátái szintén hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz.

Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal megfelelő finomsággal osztópontokra felosztott, szekvenciálisan tárolt koordináták sorozata.

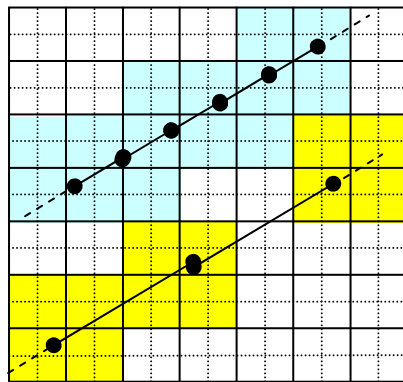


23. ábra. A repülési útvonal felosztása osztópontokra⁴⁴

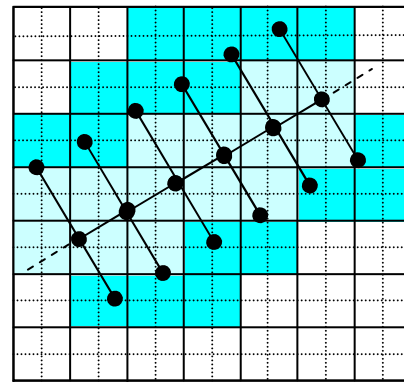
⁴⁴ Készítette: Horváth Zoltán

2.3. Horizontális távolságtartalék biztosítása

A repülési útvonal vízszintes síkját vizsgálva megállapítható, hogy önmagában nem elegendő a vertikális síkmetszet, mert a repülőgép a repülést zavaró hatások miatt bizonyosan el fog térni ettől az elméleti vonaltól. A horizontális távolságtartalék biztosítása érdekében tehát nem egy egyenes mentén, hanem egy sávban kell a magassági adatokat értékelni (24. ábra). A metszet mentén virtuálisan úgy kell „megemelni” a magasságot, hogy a megemelt pontból vizsgálva a horizontális távolsági tartalék sávjában a „megemelt” magasság fölé ne emelkedjen akadály (pl.: völgy átrepülése közben az oldalsó hegyoldalak).



Megfelelő sűrűségű mintavételezés és alul-mintavételezés



Sáv letapogatása a repülési útvonal mentén

24. ábra. Az értékelés szempontjából feldolgozandó magassági adatok⁴⁵

Ennek lehetséges módja, hogy az osztópontokon rendre végighaladva a horizontális távolságtartalék határáig, a haladási irányra merőlegesen, a ds (23) lépésközzel a beolvasott magassági értékek közül a maximális magasságot veszem figyelembe.

Az útvonal vertikális vetületének irányvektora és normál vektorai az adott útvonalon belül két szomszédos osztópont koordinátái alapján meghatározhatók (24) (irányváltás csak a fordulópontoknál következik be).

$$\begin{aligned}
 \bar{e} &= (y_{k+1} - y_k ; x_{k+1} - x_k) \\
 \bar{n}_b &= (x_k - x_{k+1} ; y_{k+1} - y_k) \\
 \bar{n}_j &= (x_{k+1} - x_k ; y_k - y_{k+1}) \\
 |\bar{e}| &= |\bar{n}_b| = |\bar{n}_j| = ds
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

ahol: e a repülési irányvektor vízszintes vetülete
 n_b, n_j e -re merőleges (bal és jobb) vízszintes normálvektorok
 k az aktuális osztópont sorszáma
 y, x az EOVS koordináta-rendszer K -i és E -i koordinátái

⁴⁵ Készítette: Horváth Zoltán

A horizontális távolságtartalék képzésére alkalmas algoritmus működése a 25. ábrán kísérhető figyelemmel.

A 25. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt vetületi koordinátái (a felszállás helyszínének, az útvonalszakaszok osztópontjainak, valamint a leszállás helyszínének koordinátái). A feldolgozás a kezdőpont (felszállás helyszíne) koordinátáinak beolvasásával kezdődik, mely kimenő adatként tárolásra is kerül.

A következő osztópont beolvasása. A kezdőpont és a következő osztópont koordinátái alapján irányvektor számítása, melyből a haladás irányára merőleges vízszintes (jobbra, illetve balra mutató) normálvektorok meghatározása történik. Ez az oldalirányú pásztázáshoz szükséges. Következő lépés a normálvektorok irányában a kezdőpontból a horizontális biztonsági távolságtartalék határáig, a DDM-ből beolvasott magassági adatok közül a maximális magasság kiválasztása, ezen magasság kezdőponthoz rendelése, kimenő adatokhoz fűzése.

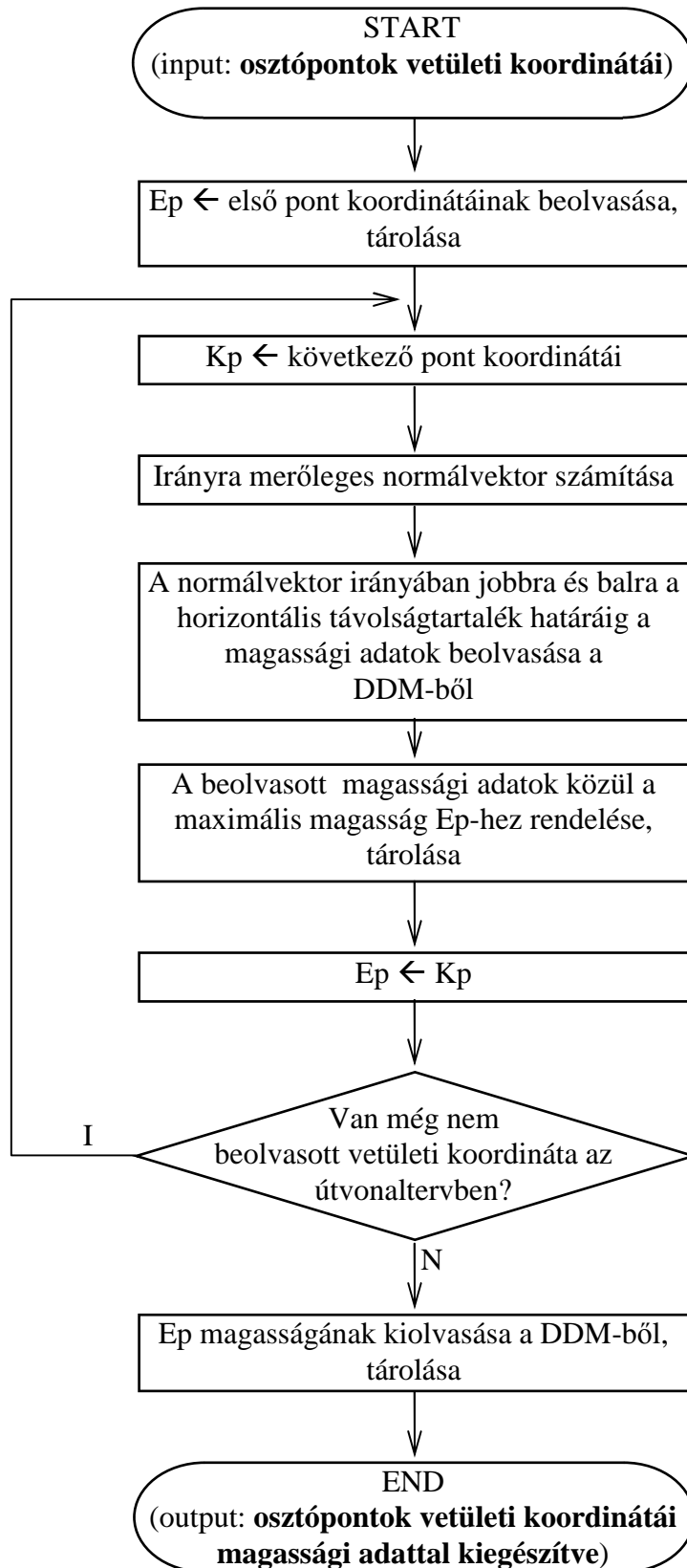
A következő vizsgálandó kezdőpont legyen a vizsgált következő osztópont. Ezt követően az előző bekezdésben foglalt feladatok mindaddig ciklikusan végrehajtásra kerülnek, amíg az útvonaltervben van még be nem olvasott osztópont koordináta.

A maradék utolsó osztópont már a leszállás helyszíne. Magasságát kiolvastva a DDM-ből szintén hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz. Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal magassági adattal ellátott osztópontjainak sorozata.

Az algoritmus a repülési útvonal utolsó osztópontjára (leszállási pont) nem számít horizontális biztonsági távolságtartalékot, amire akkor nincs is szükség, ha az UAV ezen pont környezetében már vizuális kapcsolat alapján, RC⁴⁶ üzemmódban hajtja végre a leszállást, és a fogadására kijelölt helyszín mentes a közeli terepakadályoktól.

Természetesen megoldható az utolsó osztópontra is a távolságtartalék számítása, de ha erre a gyakorlatban mégis szükség lenne, a leszállási pont kijelölése egyéb biztonsági szempontok figyelmen kívül hagyásával, valószínűleg helytelenül történt.

⁴⁶ Remote Control: Rádiócsatornán közvetlenül irányított



25. ábra. Horizontális távolságtartalék biztosítása⁴⁷

⁴⁷ Készítette: Horváth Zoltán

2.4. Vertikális távolságtartalék biztosítása

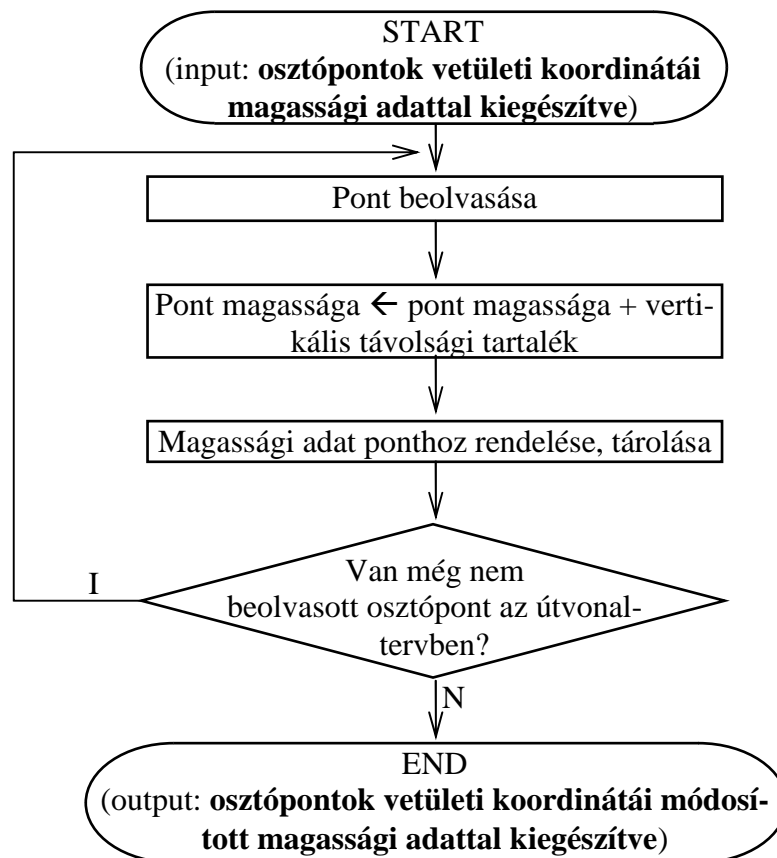
A vertikális távolságtartalék biztosítása érdekében az előzőekben „megemelt” pontok halmazának magasságát tovább kell növelni a vertikális távolságtartalékkal.

Az algoritmus működése a 26. ábrán kísérhető figyelemmel.

A 26. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt, magassági adattal ellátott koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszok osztópontjai, valamint a leszállás helyszíne).

A feldolgozás a kezdőponttól a végpontig tart. Az aktuális osztóponthoz rendelt magasság a vertikális biztonsági távolságtartalék értékével kerül megnövelésre, majd ezt követően az osztópont adatai a kimenő szekvenciális adatokhoz fűződnek.

Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal vertikális biztonsági távolságtartalékkal megnövelt magasságú osztópontjainak sorozata.



26. ábra. Vertikális távolságtartalék biztosítása⁴⁸

⁴⁸ Készítette: Horváth Zoltán

2.5. UAV süllyedési és emelkedési képességének figyelembe vétele

Az UAV süllyedési és emelkedési korlátait figyelembe véve a vertikális távolságtartálék önmagában még nem elég. Az UAV előtt található akadály biztonságos magasságban történő átrepüléséhez időben meg kell kezdeni az utazómagasságról történő emelkedést, illetve az utazómagasságra történő süllyedés során korlátozni a repülési sebesség kézmentarthatóságát.

Túl nagy süllyedéssel az UAV átlépheti a kritikus maximális sebességet, amely szerkezeti károsodáshoz vezethet, vagy tehetetlenségéből adódóan oly mértékben aláüllyedhet az utazómagasságnak, hogy pályája metszi a felszínt. Túl nagy emelkedés esetén – az UAV sebességvesztése következtében – bekövetkezhet az átesés.

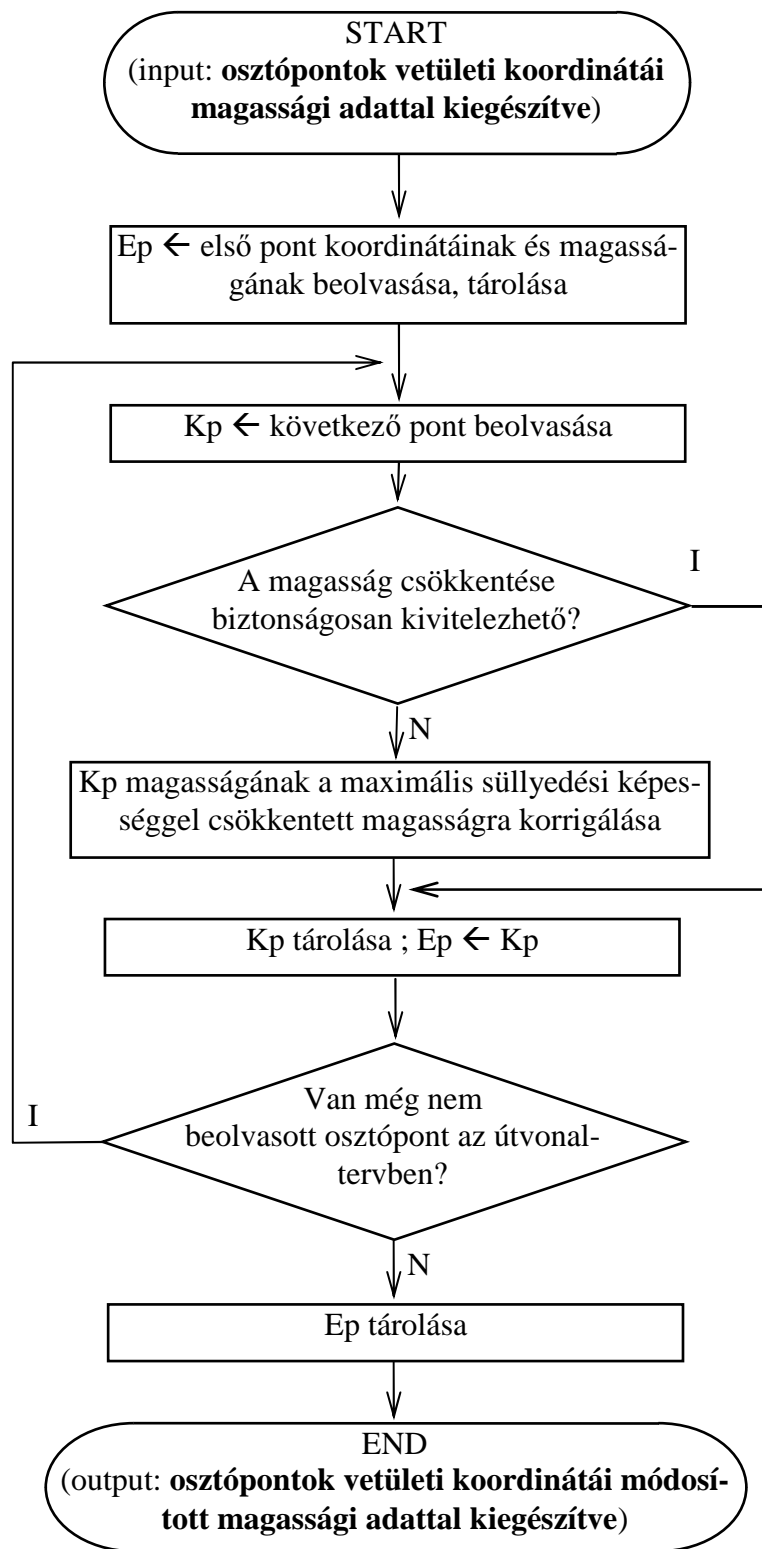
A süllyedési képességet figyelembe vevő algoritmus működése a 27. ábrán, az emelkedési képességet figyelembe vevő algoritmus működése a 28. ábrán kísérhető figyelemmel.

A 27. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt, magassági adattal ellátott koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszok osztópontjai, valamint a leszállás helyszíne). A feldolgozás a kezdőpont (felszállás helyszíne) beolvasásával indul, mely kimenő adatként tárolásra is kerül.

A következő osztópont beolvasása. A kezdőpont és a következő osztópont magassága alapján eldönthető, hogy az UAV-nak a terep követése érdekében kell-e süllyedni. Ha igen, akkor az UAV süllyedési képességét figyelembe véve a két osztópont magasságkülönbségéből eldönthető, hogy képes-e a megkívánt süllyedés végrehajtására. Ha nem képes az adott süllyedés végrehajtására, akkor a következő osztópont magassága legyen a megengedhető süllyedés alapján csökkentett magasság. Fűzzük hozzá a következő osztópontot a kimenő adatokhoz.

A következő vizsgálandó kezdőpont legyen a vizsgált következő osztópont. Ezt követően az előző bekezdésben foglalt feladatok mindaddig ciklikusan végrehajtásra kerülnek, amíg az útvonaltervben van még be nem olvasott osztópont.

A maradék kezdőpont már a leszállás helyszíne, mely szintén hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz. Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal korrigált magassági adattal ellátott, szekvenciálisan tárolt osztópontjainak sorozata.



27. ábra. Süllyedési képesség figyelembe vétele⁴⁹

⁴⁹ Készítette: Horváth Zoltán

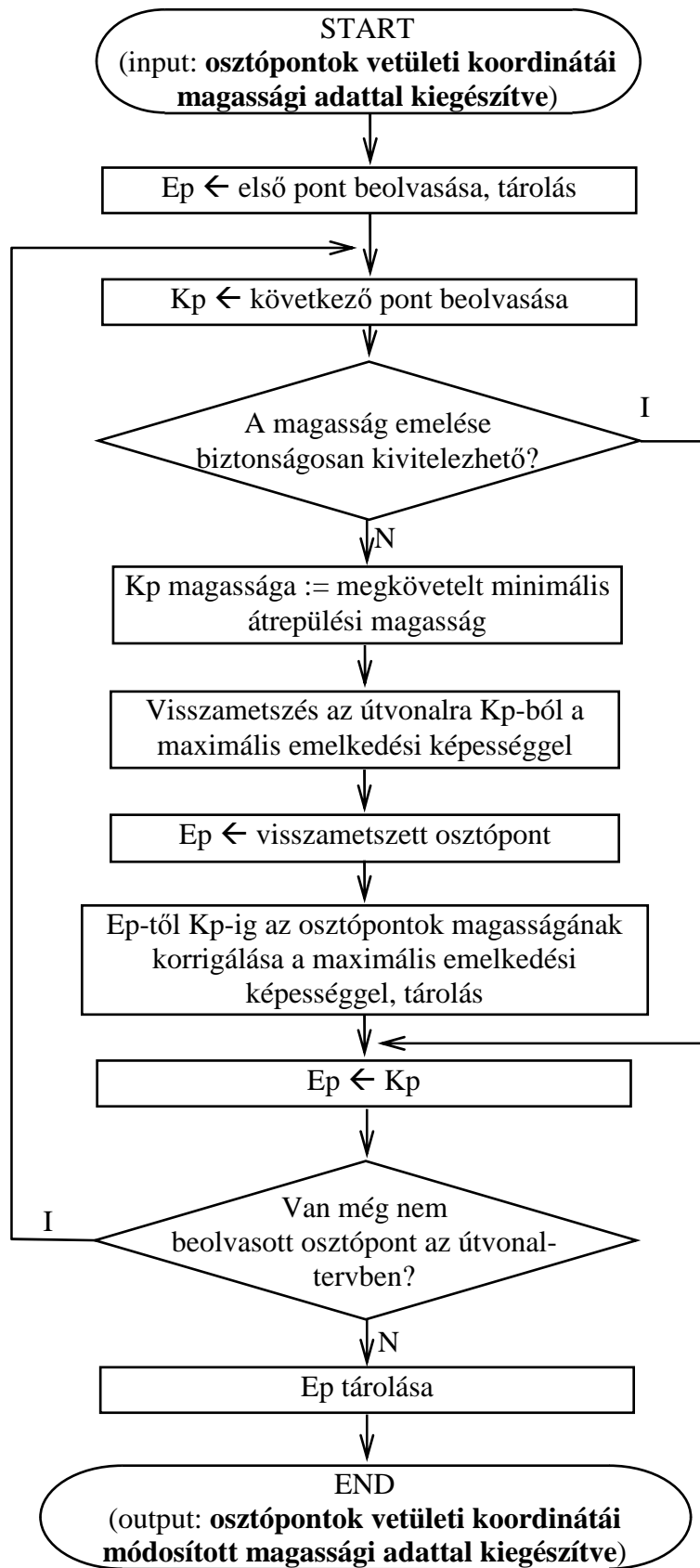
A 28. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt, magassági adattal ellátott koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszok osztópontjai, valamint a leszállás helyszíne). A feldolgozás a kezdőpont (felszállás helyszíne) beolvasásával indul, mely kimenő adatként tárolásra is kerül.

A következő osztópont beolvasása. A kezdőpont és a következő osztópont magassága alapján eldönthető, hogy az UAV-nak a terep követése érdekében kell-e emelkedni. Ha igen, akkor az UAV emelkedési képességét figyelembe véve a két osztópont magasságkülönbségéből eldönthető, hogy az UAV képes-e a megkívánt emelkedés végrehajtására. Ha nem képes az adott emelkedés végrehajtására, akkor a következő osztópont magassága legyen a terep feletti vertikális távolságtartalékot biztosító magasság. Az emelkedési képességgel visszametszve megkeressük azt az osztópontot, ahonnan el kell kezdeni az emelkedést, majd ettől az osztóponttól a vizsgált következő osztópontig rendre megemeljük és tároljuk az osztópontok magasságát a maximális emelkedési képességgel, mely eredményeként elérjük a vizsgált következő osztópont korrigált magasságát.

A következő vizsgálandó kezdőpont legyen a vizsgált következő osztópont. Ezt követően az előző bekezdésben foglalt feladatok mindaddig ciklikusan végrehajtásra kerülnek, amíg az útvonaltervben van még be nem olvasott osztópont.

A maradék osztópont már a leszállás helyszíne, mely szintén hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz.

Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal korrigált magassági adattal ellátott, szekvenciálisan tárolt osztópontjainak sorozata.

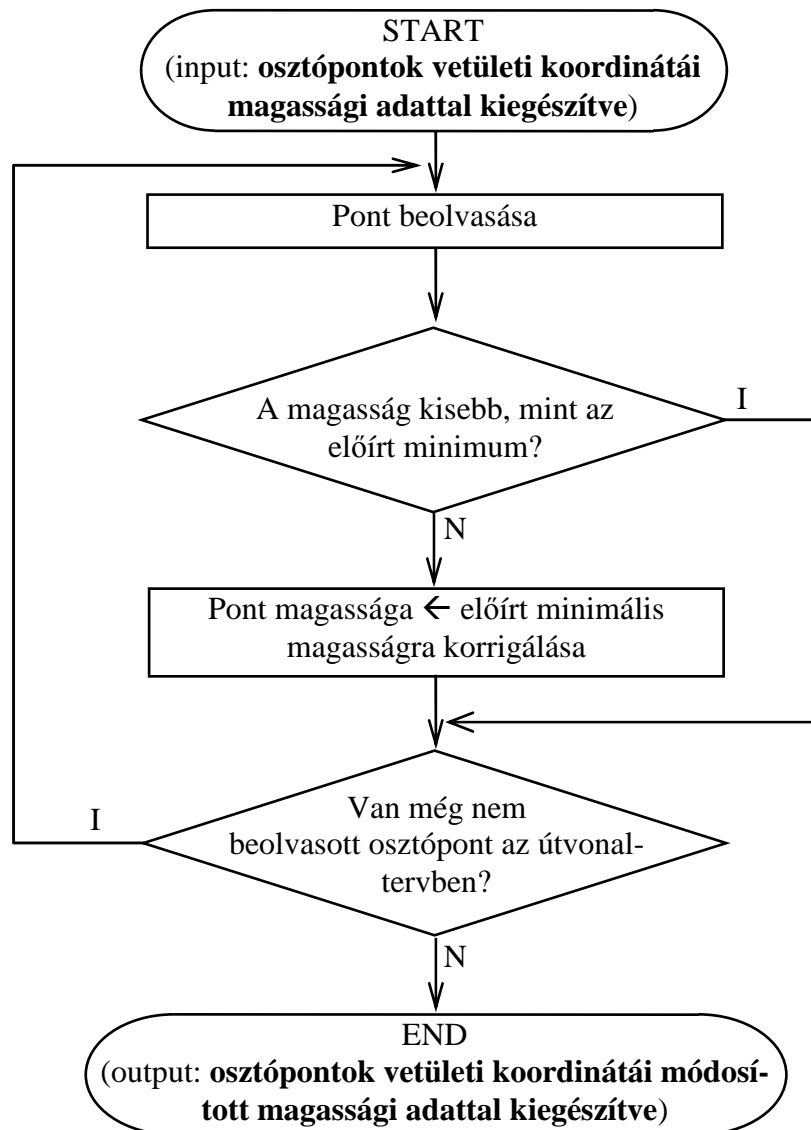


28. ábra. Emelkedési képesség figyelembe vétele⁵⁰

⁵⁰ Készítette: Horváth Zoltán

2.6. Minimális megkövetelt repülési magasság figyelembe vétele

Az UAV fedélzetén a repülési feladat végrehajtásához tárolt energia korlátozott. A küldetés végrehajtása során az energiateljesítmény szempontjából leg gazdaságosabb üzemmód az állandó magasságon végrehajtott útvonalrepülés (süllyedés során nincs lehetőség energia visszatáplálására, az emelkedés során, a fedélzetén tárolt energia nagy része a helyzeti energia növelésére fordítódik). Küldetés során ezért célszerű a feladat végrehajtás körzetébe történő kijutáshoz, illetve az onnan való visszatéréshez állandó magasságú útvonalrepülés tervezése. Az algoritmus működése a 29. ábrán kísérhető figyelemmel.



29. ábra. Minimális megkövetelt repülési magasság figyelembe vétele⁵¹

⁵¹ Készítette: Horváth Zoltán

A 29. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt, magassági adattal ellátott koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszok osztópontjai, valamint a leszállás helyszíne).

A feldolgozás a kezdőponttól a végpontig tart. Az aktuális osztóponthoz rendelt magasság ha az előírt vízszintes útvonalrepülési szint alá süllyed, akkor az osztópontok magassága legyen az előírt vízszintes útvonalrepülési szint. Ezt követően az osztópont adatai a kimenő szekvenciális adatokhoz fűződnek.

Az algoritmus kimenő adata a repülési útvonal előírt repülési, illetve a feletti magasságú osztópontok sorozata.

2.7. A repülési útvonal adatainak posztprocesszálása

Az UAV részére az eddig tárgyaltak alapján rendelkezésre áll egy biztonságosan repülhető útvonal, amely viszont a felbontás finomsága miatt feleslegesen sok információt tartalmazhat. Ha az információtartalom megőrzése mellett lehetőség van arra, hogy az egymást követő elemi vektorok összevonhatók egyetlen vektorra, jelentősen csökkenthető a repülési útvonal generálása során létrejövő adatfájl mérete.

A kiindulás alap gondolata az volt, hogy az elemi vektorok által leírt pályaszakasz meddig tekinthető egyenesnek, amely egyetlen vektorral helyettesíthető.

A megvalósításhoz bevezetésre került egy új fogalom. Egyetlen vektorral helyettesíthető azon pályaszakaszt leíró elemi vektorok halmaza, mely vektor által leírt pályaszakasz, és az azt felölelő valamennyi elemi vektorok által leírt pályaszakasz közötti eltérés osztópontként vizsgálva egy előre meghatározott tűréshatáron⁵² belül van.

Számítsuk ki a vizsgált szakasz kiinduló pontja (S_p) és a vizsgált pont (V_p) közé kifeszített (v_2), valamint a vizsgált szakasz kiinduló pontja és a vizsgált pontot követő pont (K_p) közé kifeszített (v_1 , feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasz) vektorok abszolút értékét és skalárszorzatát. Ezt a műveletet a feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasz mentén végezzük el valamennyi osztópontra a kiinduló osztóponttól a vizsgált osztópontig. Ebből meghatározható, hogy van-e olyan osztópont a vizsgált tartományon belül, amelynek távolsága a feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasztól tűréshatáron kívül van (r_{max}) (25).

⁵² A tűréshatár a biztonsági távolsági tartalékoknál nagyságrendekkel kisebb. Bevezetésére azért került sor, mivel a számítógép lebegőpontos számábrázolása alapján a számok egyenlőségének vizsgálata problematikus

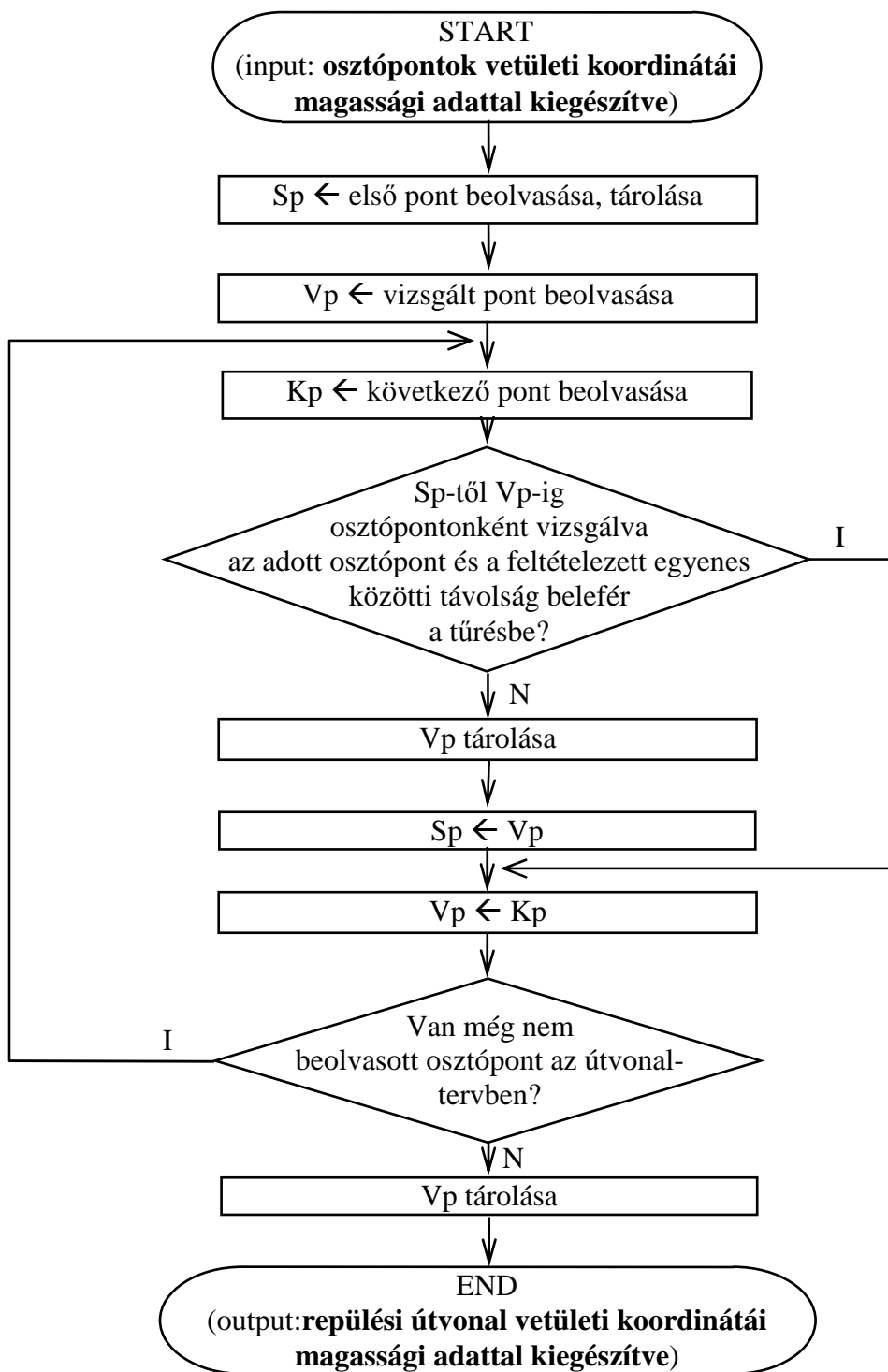
$$r_{\max} \geq \sqrt{|\bar{v}_2|^2 - \left(\frac{\bar{v}_1 \cdot \bar{v}_2}{|\bar{v}_1|} \right)^2} \quad (25)$$

Ha valamennyi osztópont távolsága a feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasztól tűréshatáron belül van, akkor az még összevonható egy egyenessé (elemi vektorai helyett egyetlen vektorral helyettesíthető), beolvasva a következő vizsgált pontot és az azt követő pontot, újra elvégezhetjük a vizsgálatot. Ha valamely osztópont távolsága a feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasztól tűréshatáron kívül van, akkor a repülési útvonal már nem egyenes. Az eddig számított feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasz koordinátáit elmentve (kiinduló pont, vizsgált pont viszonylatában) az új feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasz kiinduló pontja legyen a vizsgált pont.

A 30. ábrán látható folyamatábra az alábbi algoritmus alapján működik. Az eljárás bemenő adatai az osztópontokra bontott útvonalterv szekvenciálisan tárolt, magassági adattal ellátott koordinátái (felszállás helyszíne, az útvonalszakaszok osztópontjai, valamint a leszállás helyszíne). A feldolgozás a startpont (Sp) és az azt követő vizsgált pont (Vp) beolvasásával indul. A startpont kimenő adatként tárolásra is kerül. A következő osztópont beolvasása (Kp). A feltételezhető egyenes repülési útvonalszakasz ($Sp-Kp$) és az Sp -től Vp -ig található valamennyi osztópont távolságának vizsgálata. Ha valamennyi vizsgált osztópont ($Sp-Kp$) szakasztól mért távolsága tűréshatáron belül van, akkor az ($Sp-Kp$) szakaszon belül található. Ha eddig a pálya egy egyenessé összevonható, akkor lehet, hogy a vizsgált pontot követő támpont bevonásával ez a lehetőség továbbra is fennál. Ezért az új vizsgált pont legyen az eddig vizsgált következő pont, majd az egy bekezdéssel előbbi feladatsort hajtsuk végre.

Ha az osztópontok által kijelölt pálya már nem vonható össze egy egyenessé, akkor az ($Sp-Vp$) szakasz még egyenes. Ezért a vizsgált pont (Vp) adatai, mint az eddig vizsgált egyenes repülési útvonalszakasz végpontja hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz. Új vizsgálatot kell indítani, mely során az új startpont legyen az eddigi vizsgált pont, az új vizsgált pont legyen az eddigi következő pont. Ha van még be nem olvasott osztópont az útvonaltervben, hajtsuk végre a kettő bekezdéssel előbbi feladatokat. A maradék osztópont már a leszállás helyszíne, mely szintén hozzáfűzésre kerül a kimenő adatokhoz. Az algoritmus

kimenő adata a repülési útvonal posztprocesszált⁵³, szekvenciálisan tárolt osztópontjainak sorozata.



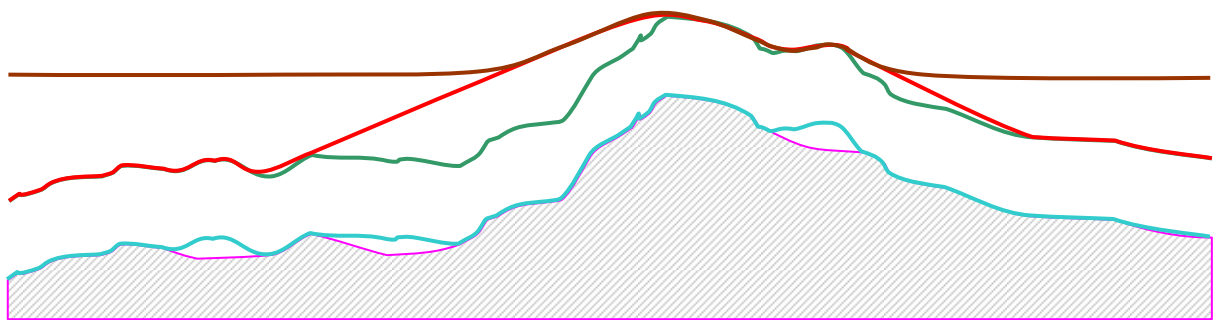
30. ábra. Repülési útvonal adatainak posztprocesszálása⁵⁴

⁵³ A megvalósított posztprocesszási eljárás összevonja az egy egyenes mentén fekvő elemi szakaszokat egyetlen szakasszá. Az ilyen eljárás során az adatmennyiség csökkenésével az adatok információtartalma változatlan marad.

⁵⁴ Készítette: Horváth Zoltán

2.8. Az útvonaltervező algoritmusok lehetőségeinek összegzése

Az útvonaltervezés algoritmusai alapján igazoltnak látom, hogy az emberi hibafaktor kiszűrésével biztonságosabban berepülhető útvonalterv készíthető, melynek függőleges vetülete megegyezik az előzetes terv függőleges vetületével (31. ábra). A tervezés alapja a megfelelő finomságú mintavétel. A horizontális és vertikális távolságtartalék biztosítása az UAV részére egy olyan „folyosót” biztosít, melynek tengelyén haladva elkerülhetővé válik a felszínnel való ütközés lehetősége. Az UAV-k manőverező képességének figyelembe vétele (emelkedési és süllyedési képesség) kizárhatja a technikai adottságokból adódóan bekövetkező eseményeket. A fedélzeten tárolt energia gazdaságos kihasználására adódhat lehetőség.



jelölés:

- **bíbor** : a terepmetszet
- **türkiz** : a sávletapogatás eredményeként a horizontális távolságtartalék biztosítása
- **zöld** : a vertikális távolságtartalék biztosítása
- **piros** : az emelkedési és süllyedési képesség figyelembe vétele
- **barna** : minimális utazómagasság figyelembe vétele (ha van ilyen előírás)

31. ábra. A biztonságos repülési útvonal tervezés szempontjai⁵⁵

2.9. A szimuláció

A fejezetben leírtak demonstrálására és gyakorlati példákra való tesztelésére elkészíttem azt a számítógépes programot, mely segítségével az általam kidolgozott algoritmusok futtathatók.

A program a repülési útvonal vertikális metszetéből kiindulva (nem kér magassági adatot) alakítja ki a végleges, magassági adatokkal kiegészített repülési útvonalat.

⁵⁵ Készítette: Horváth Zoltán

A program a tervezett útvonal vertikális vetületén kívül (a DDM alkalmazásával) az alábbi paramétereket veszi figyelembe:

- repülési sebesség (állandó sebességű repülésre való tervezés) - a fedélzeti számítógépnek az adott sebességen kell tartania a repülési sebességet;
- horizontális távolsági tartalék - a repülés vízszintes síkjában, a repülési irányra merőleges irányban a horizontális távolságtartalékon belül nem lehet a repülés vertikális távolságtartaléka fölé emelkedő akadály;
- vertikális távolságtartalék - a repülési útvonal mentén a terep felett mekkora a megkövetelt minimális magasság;
- UAV maximális emelkedési képessége (a sebesség még kézben tartható) - mekkora maximális emelkedés esetén biztosítható az állandó repülési sebesség;
- UAV maximális süllyedési képessége (a sebesség még kézben tartható) - mekkora maximális süllyedés esetén biztosítható az állandó repülési sebesség;
- az osztópontokon történő átrepülés elfogadható hibája - az elemi útvonalvektorok egy vektorra történő összevonhatóságának vizsgálata;
- előírt minimális repülési magasság - energiafelhasználás gazdaságossága szempontjából mekkora az előírt, alapfelület feletti repülési magasság.

A repülési útvonal tervezéséhez szükséges útvonalterv

A program Microsoft Office Excel által szerkesztett, CSV kiterjesztésű adatfájlként olvassa be a repülési útvonal vertikális vetületét. A CSV kiterjesztés során az adatok megtartják táblázatos jellegüket. A táblázat elemi cellái között oszloponként „;” (pontosvessző), soronként „CR+LF” (kocsi vissza, soremelés) karakterek látják el a szeparátor szerepét. Az adatok karakteres formában kerülnek tárolásra, ahol a tizedesvesszőt a „.” (pont) karakter alkotja.

Soronként az egymást követő fordulópontok (startpont ... fordulópont_k fordulópont_{k+1} ... végpont) koordinátái kerülnek tárolásra. Egy soron belül a pont meghatározása a vízszintes, majd a függőleges EOY koordinátáival történik.

Tesztútvonal tervem a következő volt:

- felszállás adott pontról (még RC üzemmódban majd az előírt magasság elérését követően autonóm üzemmódra váltás);

- a felszállást követően a feladat végrehajtási terepszakasz megközelítése;
- a feladat végrehajtási terepszakaszon „ökör a szántásban” módszerrel a terepszakasz felett rövid fordulóval a terep párhuzamos pásztázása;
- a feladat végrehajtási terepszakaszról egy másik leszállási pont megközelítése (a leszállási pont környezetében a leszállás végrehajtásához visszatérés RC üzemmódban).

Az ennek megfelelően kialakított útvonalterv (1. táblázat) a következő EOVS koordinátapárokat tartalmazza (Y koordináta ; X koordináta):

670300.000 ; 249500.000	(felszállás, terepszakasz megközelítése)
668000.000 ; 248100.000	(pásztázás kezdete)
666400.000 ; 246600.000	(forduló kezdete)
666700.000 ; 246400.000	(pásztázás kezdete)
668200.000 ; 247900.000	(leszállási helyszín megközelítésének kezdete)
672000.000 ; 247800.000	(leszállás)

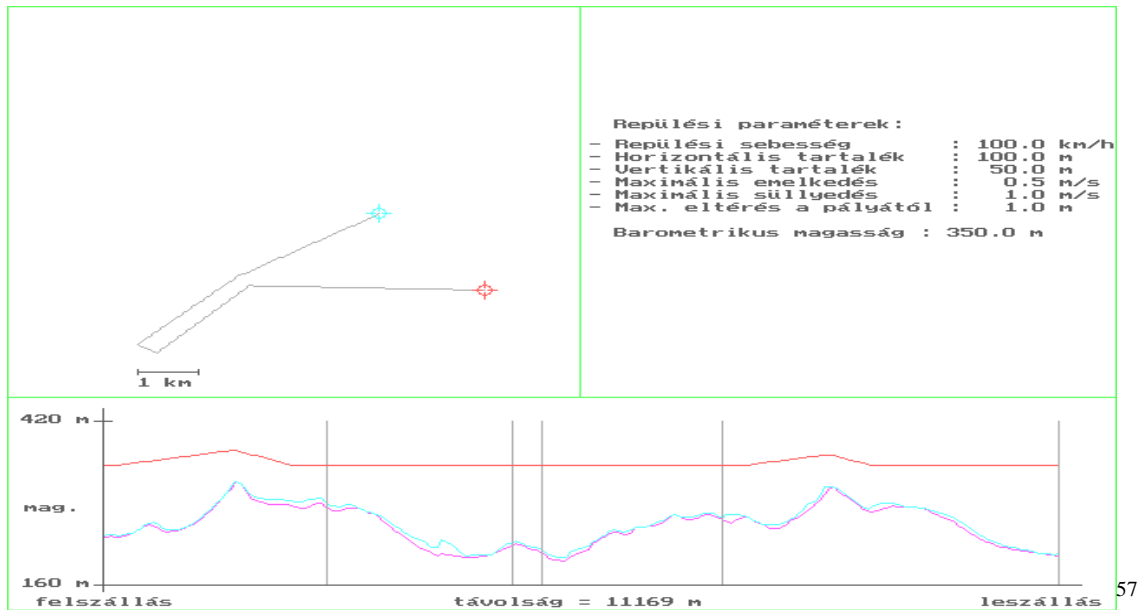
1. táblázat. Útvonal előzetes terve⁵⁶

A repülési útvonal tervezéséhez szükséges alapadatok

A továbbiakban ugyanazon útvonalon, de különböző repülési paraméterek figyelembe vételével vizsgáltam az ismertetett algoritmusok működését. A következtetések levonásához a program által előállított képernyőtervet és a posztprocesszált magassági adatokkal ellátott repülési útvonalat kívánom bemutatni.

⁵⁶ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásához

A repülési útvonal tervezése 350 m-es repülési magasságon



32. ábra. Útvonalterv képernyőterve (a)⁵⁸

A posztprocesszált útvonalterv (2. táblázat) a következő EOV koordinátákat tartalmazza (Y koordináta ; X koordináta ; magasság):

670300.000 ; 249500.000 ; 350.000	(felszállás)
668979.630 ; 248696.296 ; 374.850	(emelkedés eddig)
668383.333 ; 248333.333 ; 350.000	(süllyedés eddig)
668000.000 ; 248100.000 ; 350.000	(fordulópont)
666400.000 ; 246600.000 ; 350.000	(fordulópont)
666700.000 ; 246400.000 ; 350.000	(fordulópont)
668200.000 ; 247900.000 ; 350.000	(fordulópont)
669384.416 ; 247868.831 ; 367.658	(emelkedés eddig)
669927.273 ; 247854.545 ; 350.000	(süllyedés eddig)
672000.000 ; 247800.000 ; 350.000	(leszállás)

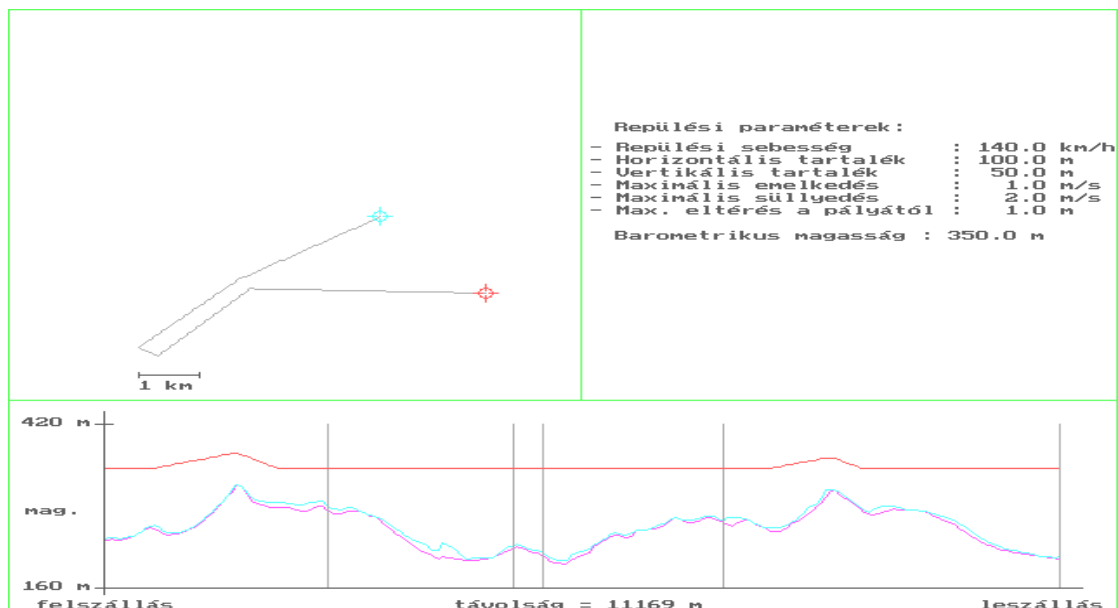
2. táblázat: Kidolgozott útvonalterv (a)⁵⁹

⁵⁷ A kép grafikai minősége a kis felbontás (640x480 pixel) és az invertálás miatt gyengébb a többi ábránál.

⁵⁸ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

⁵⁹ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

A repülési útvonal tervezése 350 m-es repülési magasságon



33. ábra. Útvonalterv képernyőterve (b)⁶⁰

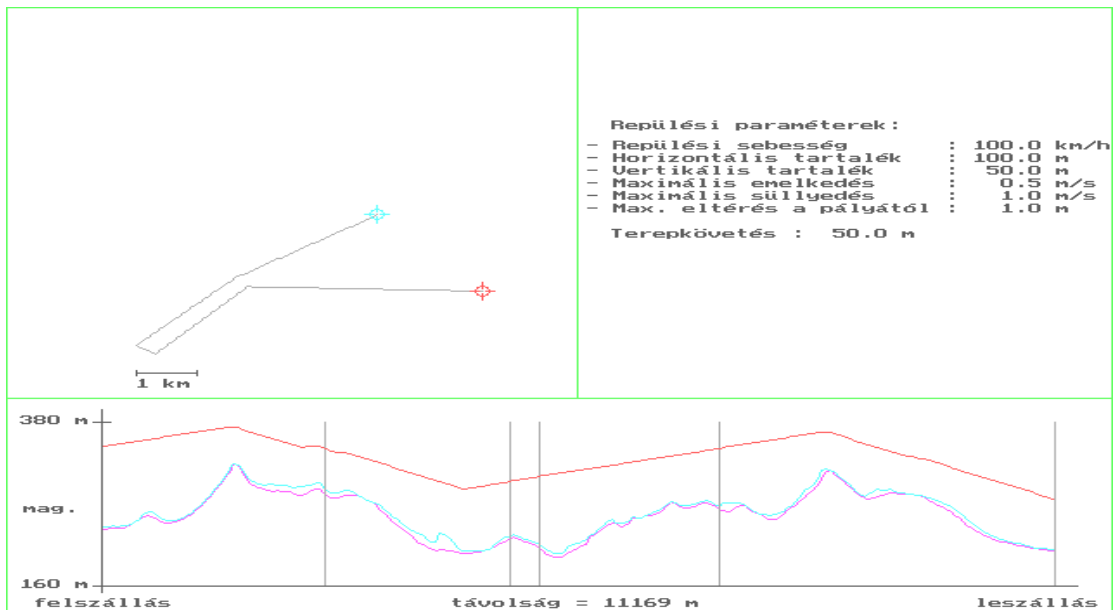
A posztprocesszált útvonalterv (3. táblázat) a következő EOV koordinátákat tartalmazza (Y koordináta ; X koordináta ; magasság):

670300.000 ; 249500.000 ; 350.000	(felszállás)
669831.481 ; 249214.815 ; 350.488	(emelkedés eddig)
669022.222 ; 248722.222 ; 374.850	(emelkedés eddig)
668937.037 ; 248670.370 ; 373.267	(süllyedés eddig)
668553.704 ; 248437.037 ; 350.188	(süllyedés eddig)
668000.000 ; 248100.000 ; 350.000	(süllyedés eddig a fordulópontig)
666400.000 ; 246600.000 ; 350.000	(fordulópont)
666700.000 ; 246400.000 ; 350.000	(fordulópont)
668200.000 ; 247900.000 ; 350.000	(fordulópont)
668644.156 ; 247888.312 ; 350.021	(emelkedés eddig)
669285.714 ; 247871.429 ; 366.524	(emelkedés eddig)
669433.766 ; 247867.532 ; 366.872	(emelkedés eddig)
669779.221 ; 247858.442 ; 350.000	(süllyedés eddig)
672000.000 ; 247800.000 ; 350.000	(leszállás)

3. táblázat: Kidolgozott útvonalterv (b)⁶¹

⁶⁰ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

A repülési útvonal tervezése 0 m-es repülési magasságon



34. ábra. Útvonalterv képernyőterve (c) ⁶²

A posztprocesszált útvonalterv (4. táblázat) a következő EOV koordinátákat tartalmazza (Y koordináta ; X koordináta ; magasság):

670300.000 ; 249500.000 ; 347.924	(felszállás)
668979.630 ; 248696.296 ; 374.850	(emelkedés eddig)
668298.148 ; 248281.481 ; 347.392	(süllyedés eddig)
668127.778 ; 248177.778 ; 348.882	(emelkedés eddig)
668000.000 ; 248100.000 ; 343.497	(süllyedés eddig a fordulópontig)
667927.273 ; 248031.818 ; 339.908	(süllyedés eddig)
667818.182 ; 247929.545 ; 338.637	(süllyedés eddig)
666872.727 ; 247043.182 ; 291.982	(süllyedés eddig)
666400.000 ; 246600.000 ; 302.546	(emelkedés eddig a fordulópontig)
666700.000 ; 246400.000 ; 309.036	(emelkedés eddig a fordulópontig)
668200.000 ; 247900.000 ; 347.220	(emelkedés eddig a fordulópontig)
669384.416 ; 247868.831 ; 367.658	(emelkedés eddig)
670322.078 ; 247844.156 ; 334.882	(süllyedés eddig)
672000.000 ; 247800.000 ; 278.099	(leszállás)

4. táblázat: Kidolgozott útvonalterv (c) ⁶³

⁶¹ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

⁶² Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

A futtatás eredményeinek értékelése

A 350 m-es repülési magasság alapján előállított útvonalterv rámutat, hogy a működő algoritmusok a biztonságos repülés érdekében a magassági adatok meghatározása mellett további térbeli koordinátákat fűz a koordináták láncolatához. Ezek segítségével – figyelembe véve az UAV technikai lehetőségeit – a terepdomborzat fenyegetése objektívebb módon válik kezelhetővé az útvonal tervezése során.

Az emelkedések és a süllyedések végrehajtása során azok mértékének hol az UAV képessége, hol a képességen belüli szükségesség szab határt a tűrés figyelembe vételével.

A 0 m-es repülési magasság azt jelenti, hogy nincs megkövetelt minimális repülési magasság. Az algoritmusok ez alapján azt a repülési útvonalat számítják, amely a terepdomborzat és az UAV repülési képessége alapján minimális magasságú és biztonságosan repülhető. Ez tulajdonképpen azt a repülési útvonalat eredményezi, amely alapján az UAV terepkövető módban hajtja végre feladatát.

2.10. Következtetések

Ebben a fejezetben megvizsgáltam a biztonságosan berepülhető útvonal tervezésének automatizálási lehetőségét. A tervező kétdimenziós síkon látja a háromdimenziós teret. Ebből adódóan a horizontális távolsági tartalék és a vertikális távolsági tartalék figyelembe vétele aprólékos (időigényes) munkát, vagy nagy tapasztalatot igényel. Az ember, mint szubjektum önhibáján kívül nem vesz figyelembe olyan, a tervezés szempontjából fontos adatokat, melyek veszélyeztetik a repülés biztonságát.

Az UAV küldetésének előkészítése során a küldetés útvonalát tervező személy a rendelkezésére álló, számára nehezen feldolgozható adatok alapján dönt. Belátható, hogy a rendelkezésre álló adatok gyors és az elvárt mértékig helyes feldolgozása, majd a fedélzeti elektronika által megkívánt formára hozása a tervező számára emberi erővel gyakorlatilag lehetetlen. A repülésbiztonság növelése érdekében az útvonaltervezést a fent leírt eljárások segítségével át lehet, és át is kell alakítani.

Az UAV-k képességeinek figyelembe vétele alapvető fontosságú. A tervezés során az útvonalterv kidolgozójának tisztában kell lennie azzal, hogy milyen manőverek végrehajtására képes a feladatát végrehajtó UAV. Az útvonaltervben figyelembe kell venni azoknak a korlátokat, melyek átlépése potenciálisan fenyegeti a küldetés sikerességét. Az utazómagasságon

⁶³ Készítette: Horváth Zoltán [PRG2] alkalmazásával

történő repülés tervezése során kimutathatóvá válik, hogy az UAV-nak hol kell magassági manővert végrehajtania a fedélzeten szállított energia mennyiség felhasználásával.

A repülési adatok posztprocesszálása nem csökkentheti a repülési adatok információ-tartalmát, célszerűen csak a redundanciát mérsékeli. Fő célja az, hogy a tervezett repülési útvonal mentén csak azon pontok adatai kerüljenek feldolgozásra, mely pontok az útvonal tartása mellett, a manőverek (emelkedés, süllyedés, fordulás) kivitelezéséhez szükségesek.

A kidolgozott algoritmusok alapján **megoldhatóvá válik az UAV-k terepkövető üzemmódban történő alkalmazása.** Abban az esetben, ha ez a program a fedélzeten implementálható, akkor akár vészhelyzetben teljesen új „menekülési” útvonaltervezésre is lehetőség nyílik. Ezzel a vészhelyzeti algoritmusok kidolgozásának egy újabb széles tárháza nyílik meg, amely végső soron megint csak az UAV-k repülésbiztonságát növeli.

Az előre tervezhető, autonóm módban végrehajtható repülés következtében egy személy egyidejűleg több UAV repülésének felügyeletére válhat képessé, az autonóm üzemmódból adódóan az UAV elektronikai felderítési és zavarási lehetősége erősen csökken, illetve az útvonal tervezés folyamata egyszerűbbé, gyorsabbá és precízebbé válik.

3. Perspektivikus légi fényképek analizálása, szintetizálása DDM alkalmazásával

A DDM információtartalmának elévülését vizsgálva megállapítható, hogy a legidőállóbb információ a domborzat. Ezt követi a domborzathoz erősen kötődő vízrajz. Az egyik legváltozékonyabb információ a terület fedése, vagyis annak rögzítése, hogy mi borítja a felszínt. Ennek a változásnak figyelemmel kísérése alapvető fontosságú a DTM-ek naprakészen tartása során.

A DTM-ek aktualizálásának egyik lehetséges módja az ortofotó-térképek feldolgozása, melyek akár önálló réteget alkotják a DTM-nek. Ezeknek a térképeknek a kiinduló adatait légifényképek alkotják, melyek készítése időigényes és költséges. Az időigény a repülés előzetes tervezési feladataiból, valamint a légifényképek utólagos feldolgozásából adódik. A költségek a technikai eszközök beszerzéséből, üzemben-tartásából és a humán erőforrások alkalmazásából tevődik össze.

A légifényképek készítésére felkészített repülőgépek és az UAV-k között számos technikai és alkalmazásbeli különbség lelhető fel. Ezeknek a különbségeknek a felmérése, újraértékelése útján elképzelhető, hogy lehetőség nyílik egy új eljárásorozaton keresztül az UAV-k által készített légifényképek gyors és költségkímélő módon történő feldolgozására, ortofotó-térképek előállítására.

A légifényképek készítése során az UAV-k alkalmazását moduláris, egyszerű bővíthetősége, többcélú alkalmazhatósága teszi vonzóvá. Ezen eszközök üzemeltetése nagyságrendekkel olcsóbb a légifényképek készítését végző speciális kialakítású repülőgépekénél. Könnyen a célterület fölé juttatható, alkalmazása nem igényli repülőtér és fedélzeti személyzet alkalmazását.

Akad viszont az UAV-k alkalmazásának néhány hátránya, mely megghiúsíthatja alkalmazásukat ezen a területen. A fedélzeten hordozható hasznos teher össz mennyisége erősen korlátozott. A nagy tömegű mérőkamarák szállítására ezek az eszközök alkalmatlanok. Szerencsére a technika fejlődése lehetővé tette kis méretű és kis tömegű, nagy felbontású digitális fényképezőgépek alkalmazását, melyek nem csak jó minőségű, nagy felbontású, speciális spektrális érzékenységű digitális fényképek készítésére alkalmasak, hanem az általuk készített fényképek továbbítása, feldolgozása is egyszerűbbé válik.

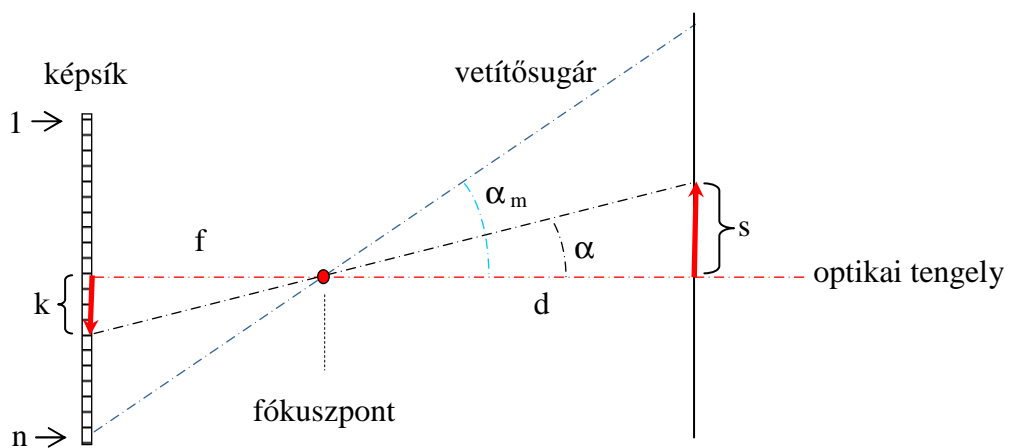
További hátrányt jelent az UAV-k kis mérete, tömege. A repülés során a légköri turbulenciák és a manőverek gyakori végrehajtása miatt körülményes annak biztosítása, hogy a fényképezés pillanatában a kamera tengelye merőleges legyen a célterület síkjára, mely a torzításmentes képalkotás egyik alapfeltétele. Ennek hiányában perspektivikus kép keletkezik.

Az UAV-k maximális repülési magassága is korlátozott. A célterület csak akkor tekinthető síknak, ha a megengedett domborzat által okozott torzítás mellett, amely a célterületen belül mérhető magasságkülönbségből adódik, elegendően nagy magasságból készülnek a felvételek. Ilyen megkívánt magasságú repülésre az UAV-k általában alkalmatlanok.

A továbbiakban **azt kívánom bizonyítani, hogy az általam kidolgozott eljárás segítségével az UAV-k által kis- és közepes magasságon készített digitális perspektivikus légifényképek is alkalmasak digitális ortofotó-térképek előállítására** abban az esetben, ha rendelkezésre áll a célterület Digitális Terepmodellje, a fényképen azonosítható három objektum, melyeknek koordinátái ismertek, továbbá a fényképkészítés helye regisztrálható, melynek kivitelezése akár GPS vevővel megoldható.

3.1. Képalkotás

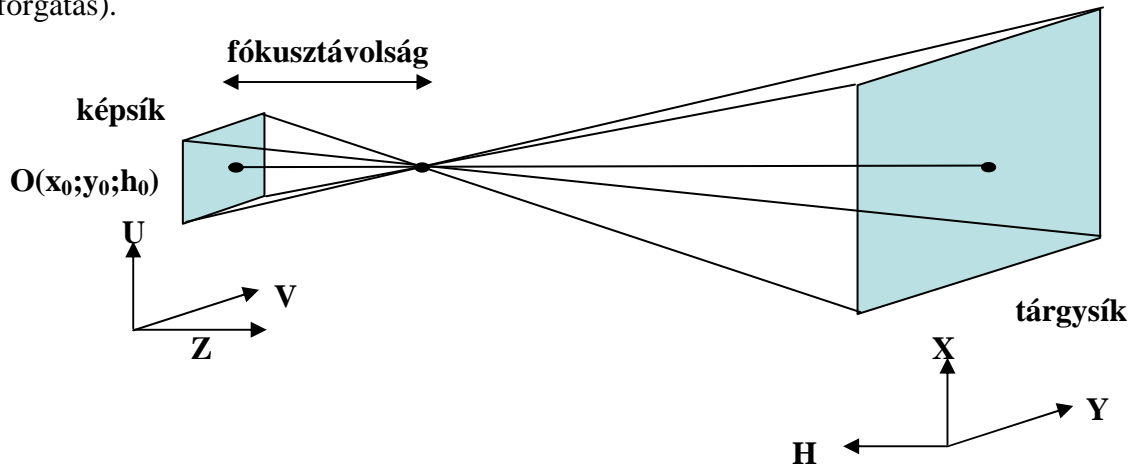
A digitális kamera centrális vetítéssel képezi le a célterület objektumait a képsíkra. A képsíkot dőfő, az objektum képét létrehozó vetítősugarak egy pontban, a fókuszpontban metszik egymást. Az objektív tengelye merőleges a képsíkra. Az objektív tengelye a képsíkot középpontjában dőfi. A fókuszpont és a képsík távolsága a fókusztávolság (35. ábra).



35. ábra. Centrális vetítés⁶⁴

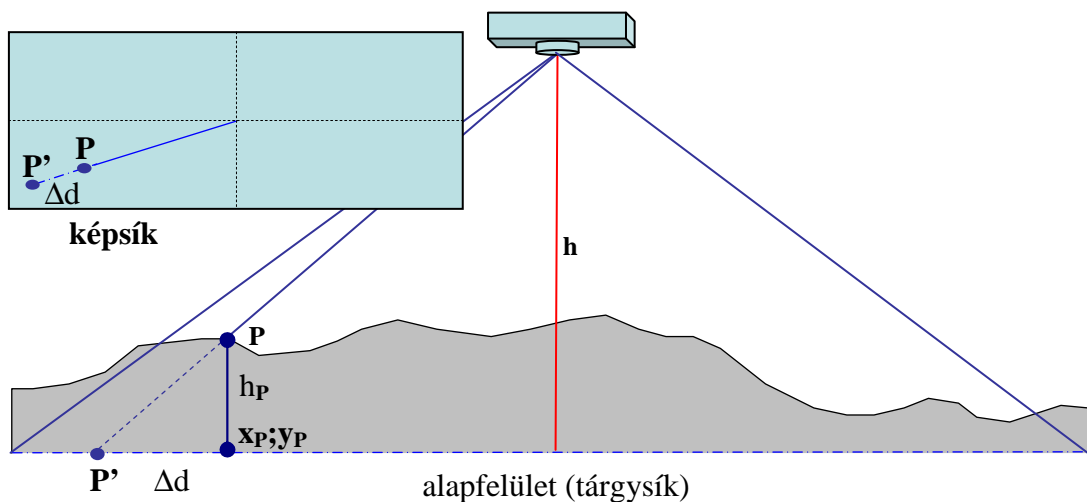
⁶⁴ Készítette: Horváth Zoltán

A legegyszerűbb eset, ha az objektumok egy síkban, a képsíkkal párhuzamos tárgysíkban helyezkednek el (36. ábra). Ebben az esetben a digitális ortofoto képek előállítását egyszerű affin-transzformáció végrehajtásával megvalósítható (méretarány váltása, eltolás, forgatás).



36. ábra. Ortofoto előállítása⁶⁵

A kis repülési magasságból adódóan a terepdomborzat által okozott torzítás már nem elhanyagolható. A fényképen feltűnő tereptárgy helyzete az affin transzformációt követően nem felel meg az adott tereptárgy valós helyzetének. Mivel az adott tereptárgy az alapfelület felett meghatározott magasságon található, az affin transzformációt alkalmazó eljárások alkalmatlanok a tereptárgy valós helyzetének visszaadására még párhuzamos kép- és tárgysík esetében is, viszont az alapfelület dőléspontja meghatározható (37. ábra).

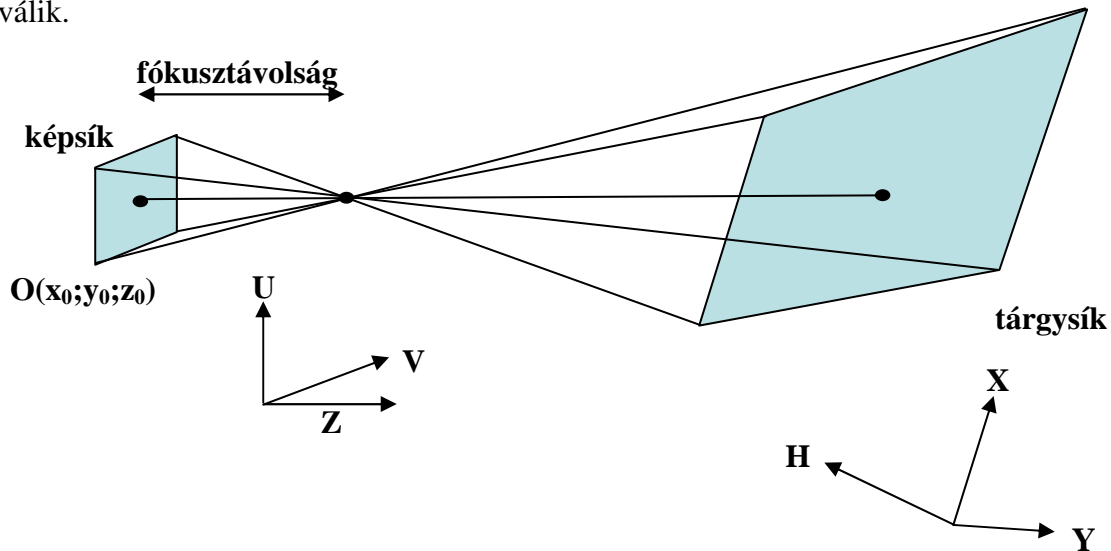


37. ábra. A terepdomborzat torzító hatása kis magasság esetén⁶⁶

⁶⁵ Készítette: Horváth Zoltán

⁶⁶ Készítette: Horváth Zoltán

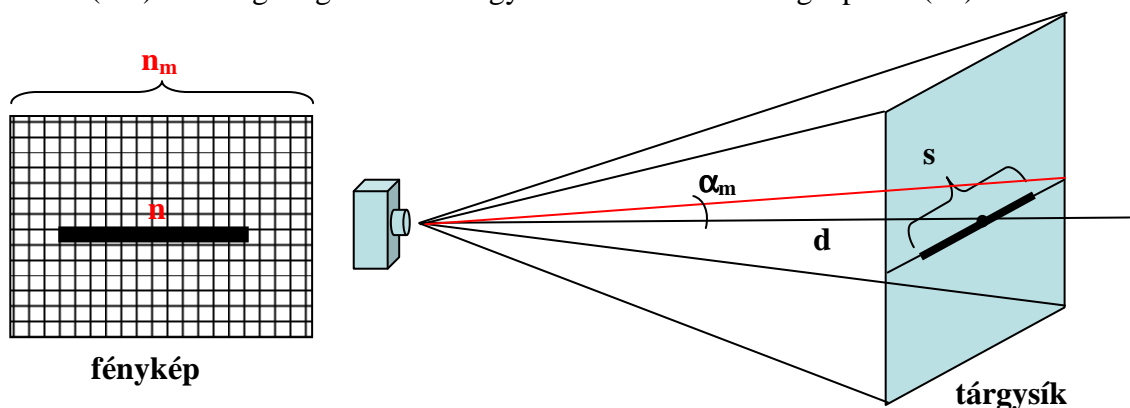
Bonyolultabb a helyzet, ha a képsík és a tárgysík nem párhuzamos (38. ábra). A létrejövő perspektivikus képből torzításmentes kép csak abban az esetben állítható elő, ha a fényképezőgép, illetve a tárgysík referenciarendszerének transzformációja megvalósítható. Ehhez adatokra van szükség, amelyekkel a két referenciarendszer közötti kapcsolat leírhatóvá válik.



38. ábra. Perspektivikus képalkotás⁶⁷

3.2. A képalkotó eszköz vizsgálata

A digitális kamera horizontális és vertikális látószöge és felbontása katalógusadat. Abban az esetben, ha ez nem áll rendelkezésre, laboratóriumi körülmények között a látószög meghatározható (35. ábra jelölésrendszere, 39. ábra). A vizsgálat megfelelően nagy távolságról készített ortofotót igényel, ahol a lefényképezett sík jól látható és ismert kiterjedésű objektumokat tartalmaz. Az elkészült kép utólagos kiértékelése, a horizontális és vertikális (h-v) látószög meghatározása egyszerű levezetéssel megkapható (26).



39. ábra. Képalkotó eszköz kalibrálása (horizontális síkon)⁶⁸

⁶⁷ Készítette: Horváth Zoltán

⁶⁸ Készítette: Horváth Zoltán

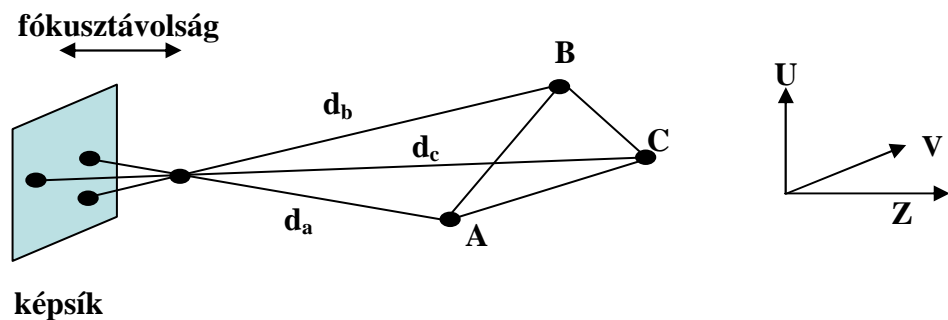
$$\alpha_m = \pm \arctg\left(\frac{s \cdot n_m}{2 \cdot k \cdot d}\right) \quad (26)$$

ahol:

- α_m : az objektív horizontális/vertikális látószöge az optikai tengelytől mérve
- s : objektum horizontális/vertikális kiterjedése a tárgysíkon
- n_m : maximális horizontális/vertikális felbontás (pixel)
- k : objektum horizontális/vertikális kiterjedése a képen (pixel)
- d : a leképezett sík távolsága

3.3. A tér rekonstrukciója három ismert pontja alapján

Ha a fényképezés helye ismert (pl. GPS vevő is van a fedélzeten) és a fényképen felismerhető három objektum, melynek térbeli koordinátái ismertek, létrehozható egy ortogonális, kamerához fűződő referenciarendszer, melynek origója a fényképezőgép fókuszpontja, egyik tengelye az objektív tengelye Z , másik tengelye a kép képpontjainak sorirányával V és a harmadik tengely az oszlopírányával U párhuzamos (40. ábra).



40. ábra. Kamerához fűződő koordinátarendszer⁶⁹

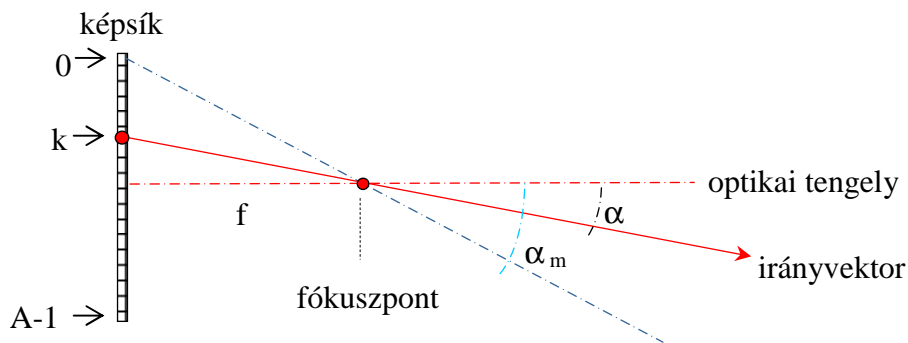
A képsík merőleges az objektív tengelyére. A képsík oszlopokba és sorokba rendezett képpontokból áll. Ha ismerjük az objektív horizontális és vertikális felbontását és látószögét, akkor bármely képponthez rendelhető egy vektor, melynek iránya megegyezik a képponton áthaladó vetítősugár irányával. Ez azt jelenti, hogy létrehozható egy függvény, melynek bemenő paraméterei a képpont koordinátái, függvényértéke pedig a képponthez tartozó vetítősugár iránya.

Ehhez először meg kell határozni az adott képpontot dőfő vektor oldal- és helyszögét. A Windows operációs rendszer képmegjelenítő szolgáltatásai (pl: Paint) a képernyőn megjelenített pixelek koordinátáinak meghatározásához a következő szabályokat alkalmazza:

⁶⁹ Készítette: Horváth Zoltán

- legyen a bal felső sarokban található pixel az origóban, koordinátái P(0;0);
- az azonos sorban található szomszédos pixelek első koordinátája jobbra haladva inkrementálódik [0..A-1] tartományban, ahol A a vízszintes felbontás;
- az azonos oszlopban található szomszédos pixelek második koordinátája lefele haladva inkrementálódik [0..A-1] tartományban, ahol A a függőleges felbontás.

Az 41. ábra referenciarendszerét alkalmazva a kamera referenciarendszerében a vetítősugár irányára értékeire a (27) egyenletet kapjuk. Erre az irányra fektetett egyenesre kell felmérni az objektum távolságát, hogy megkapjuk a kamera referenciarendszerében az objektum térbeli koordinátáit (28).



41. ábra. Irányvektor számításának referenciarendszere⁷⁰

$$\alpha = \arctg \left[\left(1 - \frac{2 \cdot k}{A-1} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_m \right] \quad (27)$$

ahol:

- α : horizontális/vertikális irány
- k : a képpont horizontális/vertikális koordinátája (pixel)
- A : a kép horizontális/vertikális felbontása (pixel)
- α_m : az objektív horizontális/vertikális maximális látószöge

A kamera referenciarendszerében, a fénykép alapján, az ismert pontok térbeli helyzete rekonstruálható, mivel a kamera és az objektumok távolsága számítható. Ismerve a kamera felbontását és látószögét, az objektumok távolságát, a képpontok alapján az objektumok visszavetíthetők a kamera referenciarendszerében a térbe. Így létrehoztuk a kamera metrikus léptékű koordinátarendszerét.

$$\begin{aligned} u &= d \cdot \sin \vartheta \\ v &= d \cdot \sin \beta \cdot \cos \vartheta \\ z &= d \cdot \cos \beta \cdot \cos \vartheta \end{aligned} \quad (28)$$

⁷⁰ Készítette: Horváth Zoltán

ahol:

u, v, z : térbeli koordináták a kamera referencia rendszerében
d : objektum távolsága
 β : objektum horizontális irányszöge
 ϑ : objektum vertikális irányszöge

3.4. A térképészeti és a kamera által alkalmazott referencia-rendszerek illesztése

A különböző koordináta rendszerek (Gauss-Krüger, EOVS, UTM, GPS földrajzi koordináta) közötti átjárhatóság érdekében számos algoritmus és kidolgozott eljárás létezik. Mivel a koordináta-rendszerek közötti transzformáció már megoldott probléma, az objektum térbeli helyzetének leírásához a különböző rendszerek közül azt célszerű választani, amelyiknek alkalmazása – matematikai apparátus igényét tekintve – a legegyszerűbb.

Az Egységes Országos Vetületi Rendszer (EOVS) ezt biztosítja. Y tengelye Keletre, X tengelye Északra mutat és a magasság (H) a balti alapszint felett értendő. Léptéke metrikus.

Abban az esetben, ha a kamera által készített felvételen felismerhető három objektum, melynek koordinátái EOVS-ban ismertek, a kamera referenciarendszerében létrehozható ezen pontoknak térbeli koordinátája. Ezek az objektumok ugyanúgy megtalálhatóak az EOVS referenciarendszerben. Tehát a három pont alapján a két referenciarendszer közötti átjárhatóság biztosítható, mely komplex affin transzformációval hozható létre (29). A transzformációs mátrix elemeinek értéke három pont koordinátái alapján számítható.

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} u \\ v \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \\ x \\ h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y_0 \\ x_0 \\ h_0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

ahol:

a ... i : a transzformációs mátrix elemei
u, v, z : objektumnak a kamera referencia rendszerében mért koordinátái
y, x, h : az ismert objektumok EOVS koordinátái;
y₀, x₀, h₀: a kamera EOVS koordinátái.

A transzformációs mátrix elemeinek meghatározását követően bármely, érdeklődésre számot tartó képpontra mutató vektor áttranszformálható EOVS koordináta rendszerbe. A kamera koordinátáit és a transzformált irányvektor koordinátáit alkalmazva meghatározható egy egyenes egyenlete, mely döfi h=0 esetén az EOVS alapfelületet. Ennek a döféspontnak Y és X koordinátája számítható (30).

$$\begin{bmatrix} v_y \\ v_x \\ v_h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{tg} \beta \\ \operatorname{tg} \vartheta \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_0 \\ x_0 \\ h_0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$y = y_0 + v_y \cdot t$$

$$x = x_0 + v_x \cdot t \quad ; \quad \text{és} \quad t = -\frac{h_0}{v_h}$$

ahol:

v_y, v_x, v_h : vetítősugár irányvektorának EOVS koordinátái;

$a \dots i$: transzformációs mátrix elemei

β, ϑ : a kamera referencia rendszerében a vetítősugár irányvektorának oldal- és helyszöge

y_0, x_0, h_0 : a kamera EOVS koordinátái.

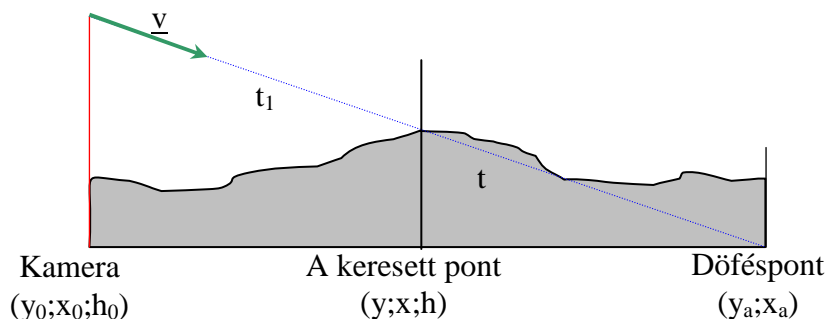
y, x : a vetítősugár és az alapfelület ($h=0$) dőféspontjának koordinátái

3.5. Az objektum koordinátáinak meghatározása Digitális Domborzat Modell alkalmazásával

Mivel ismert a kamera EOVS koordinátája, valamint tudjuk azt, hogy az érdeklődésre számot tartó képponton átmenő vetítősugár hol dőfi az EOVS alapfelületet, készítsünk terepmetszetet ebben a vertikális síkban (42. ábra).

Az 42. ábráról leolvasható, hogy a felvételen vizsgált képpont megvilágítását az a célterület felületén található pont valósítja meg, mely a kamerától a dőféspont felé haladva elsőként található a vetítősugáron. A kérdéses pont vízszintes koordinátái aránypárral meghatározható, magassága a Digitális Domborzat Modelltől kiolvasható (31).

$$y = y_a \cdot \frac{t}{t_1} \quad ; \quad x = x_a \cdot \frac{t}{t_1} \quad ; \quad \text{ez alapján: } DTM(y; x) \rightarrow h \quad (31)$$

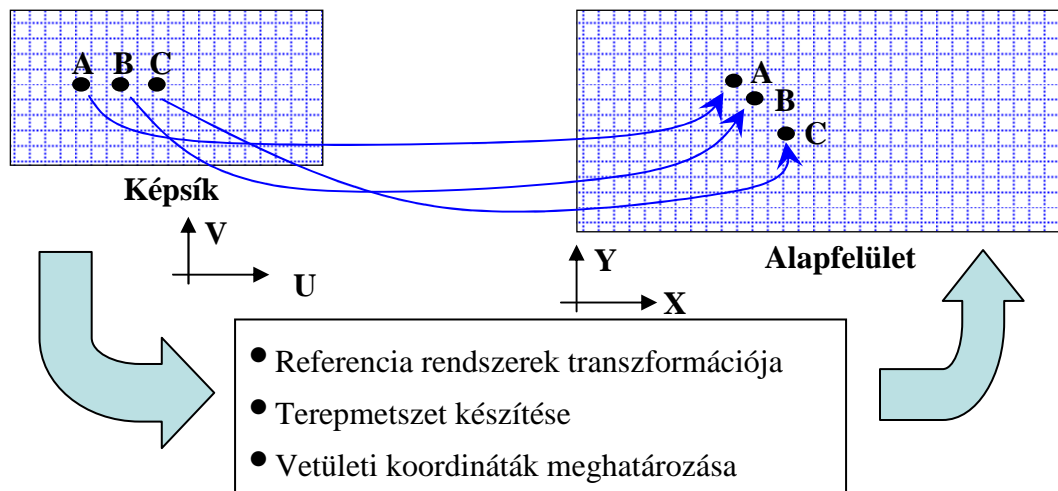


42. ábra. Terep vertikális síkmetszete⁷¹

⁷¹ Készítette: Horváth Zoltán

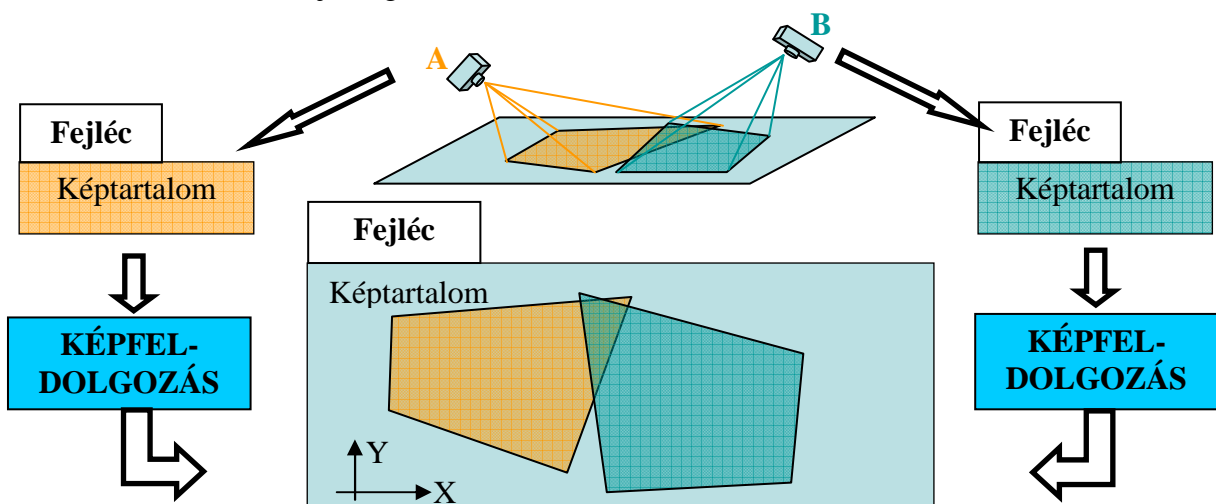
3.6. Ortofotó-térképek, DTM rétegek létrehozása

Az eddigiek alapján bármely légifénykép, melynek készítési helye ismert és rajta azonosítható három objektum, valamint ismert a célterület Digitális Domborzat Modellje, az adott fénykép valamennyi képpontjához tartozó tereppont vetületi koordinátája meghatározható (43. ábra). A vetületi koordináták alapján történő ábrázolás már torzításmentes.



43. ábra. Torzításmentes kép előállítási folyamata⁷²

További lehetőség, hogy egy előre meghatározott koordinátatartományt felölelő, előre meghatározott felbontású adatbázis mozaikszerűen feltölthetővé válik egyes légifényképek feldolgozása útján, vagyis megkaphatjuk a kívánt torzításmentes ortofotó-térképet, vagy egy, a DTM-hez illeszkedő új réteget (44. ábra).



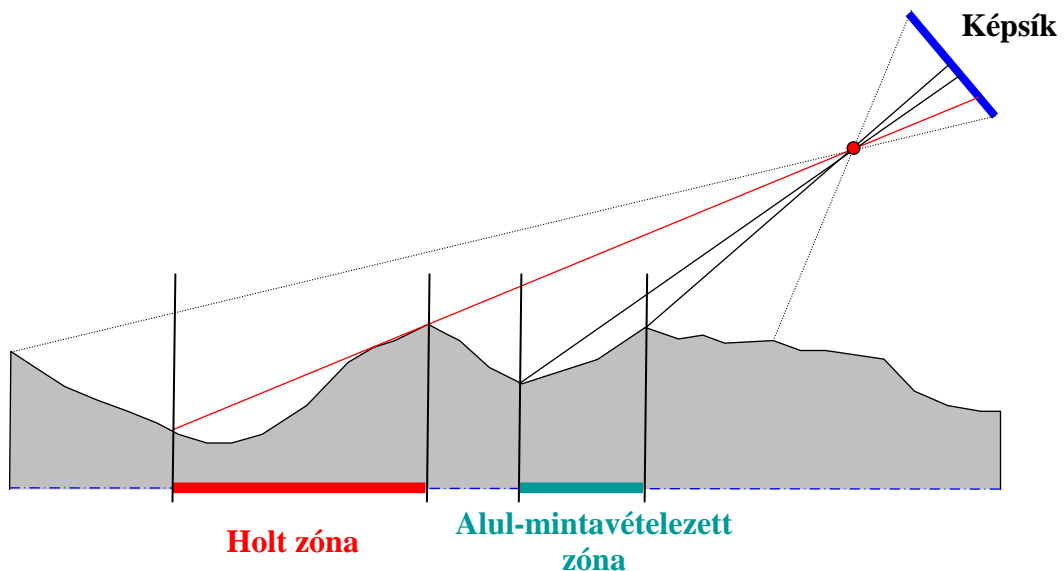
44. ábra. Ortofotó-térkép mozaikszerű előállítása⁷³

⁷² Készítette: Horváth Zoltán

⁷³ Készítette: Horváth Zoltán

3.7. Információvesztés a leképezés során

A felszínhez közeli repülés, illetve az alapfelülettel kis szöget bezáró kameraállás sajnálatos módon olyan hátrányokat hozhat magával, melyek kezelésére az előzőekben ismertetett eljárás nem alkalmas. A felszín közelsége miatt előfordulhat, hogy a fényképezés során a célterület egyes tartományai a domborzat által takarásba kerülnek, holt zónák alakulnak ki. Ebben az esetben a kép semmilyen információt nem tartalmaz az adott területről. Másik, ennél kisebb probléma, ha egyes tartományok síkja és a kamera tengelye túl kis szöget zárnak be egymással. Ekkor az adott területről bár tartalmaz információt a kép, ortofotó-térkép előállítására azonban alkalmatlan, ekkor alul-mintavételezett zónáról beszélhetünk (45. ábra).



45. ábra. Információvesztés a leképezés során⁷⁴

Ilyen esetekben a perspektivikus fényképek tanulmányozása során a holt zónák és az alul-mintavételezett zónák nehezen azonosíthatók, viszont **a perspektivikus képek ortofotóvá történő átalakítását követően – torzításmentes képet alkotva – ezek a területek jól megfigyelhetővé, körülírhatóvá válnak.**

⁷⁴ Készítette: Horváth Zoltán

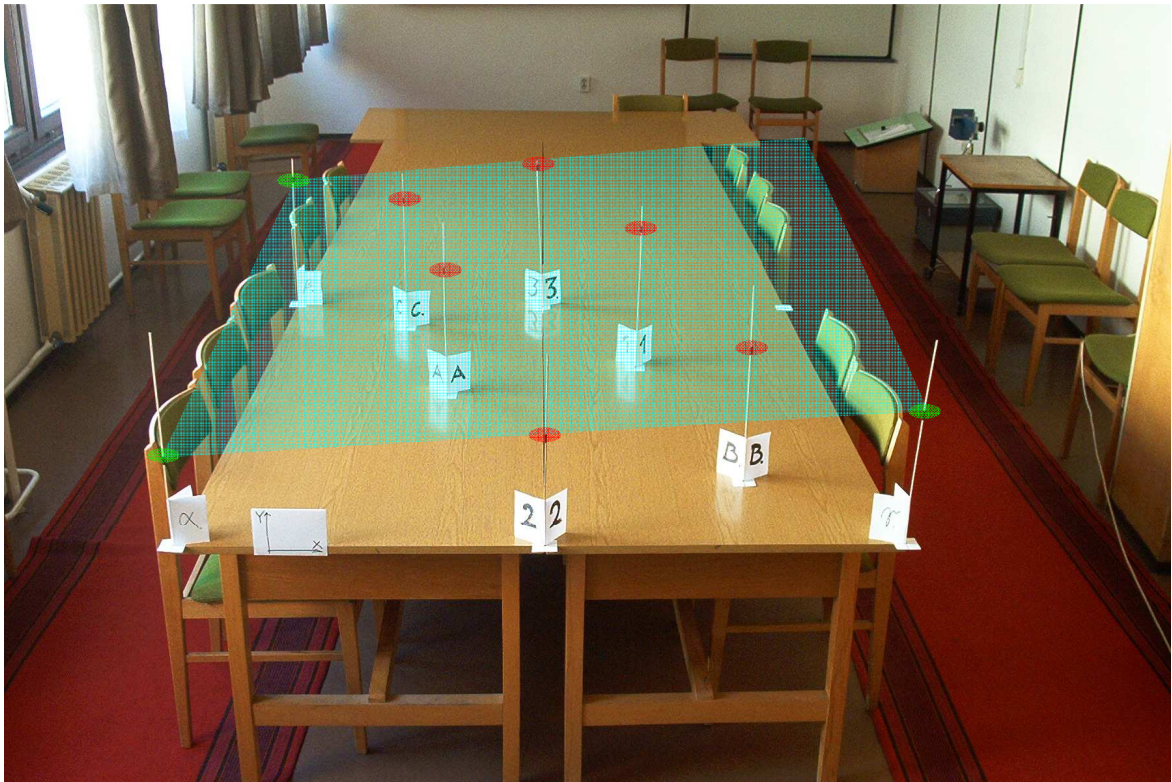
3.8. A szimuláció

3.8.1. Adott térbeli pont koordinátáinak meghatározása a fényképezőgép és a terep három ismert koordinátájú pontja alapján

Egy tanteremben egy asztal $1,5 \times 1,5 \text{ m}^2$ -es felületén bójákat helyeztem el. Az asztallap alapfelületként látta el feladatát. Ezt elhelyeztem egy általam meghatározott eltolt origójú koordinátarendszerben.

Létrehoztam egy Digitális Domborzat Modellt, mely az asztallap felett egy, az asztallappal nem párhuzamos virtuális síkot jelöl meg felületként, mely az α , β , γ pontokra illeszkedik.

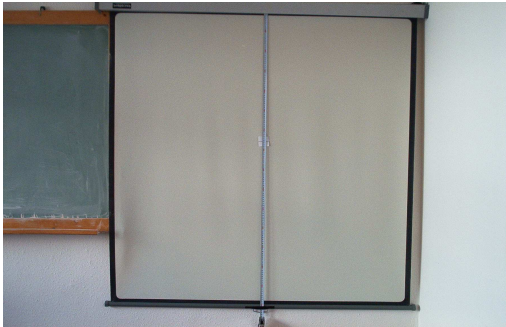
A bójákat az alapfelületen meghatározott koordinátákon helyeztem el. A bójákon található jelölés azt a magassági pontot tartalmazza, mely az alapfelület feletti virtuális sík dőléspontját jelöli ki (46. ábra).



46. ábra. A berendezett vizsgálati terület a virtuális síkkal⁷⁵

⁷⁵ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásához

A fényképezőgép nyílásszögének meghatározására is sor került két ortofotó alkalmazásával (47. ábra). Az objektum egy mérőszalag.



Függőleges felbontás: 1792 pixel

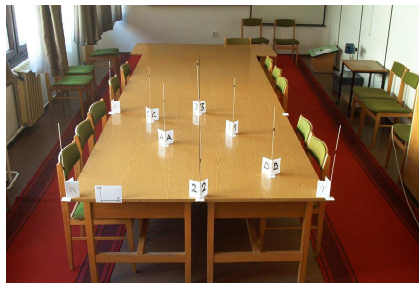


Vízszintes felbontás: 1200 pixel

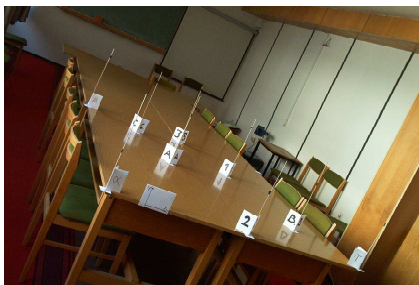
Távolság: 284 cm
Objektum mérete: 150 cm

47. ábra. A fényképezőgép nyílásszögének meghatározásához szükséges fényképek⁷⁶

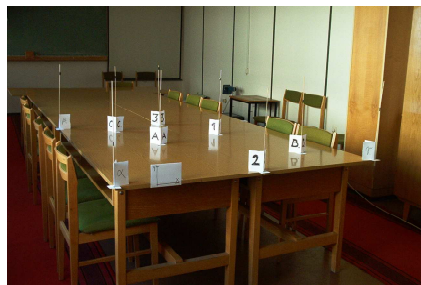
Több helyről, különböző pozíciókból és felbontással, felvételek készültek a célterületről egy digitális fényképezőgép segítségével (48. – 49. ábra).



C1



C2



C3

48. ábra. Különböző helyszínről készített perspektivikus fényképek⁷⁷

⁷⁶ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásához

⁷⁷ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásához

„Azonosítható” objektumok:

α (200 cm;600 cm) h=20 cm

β (200 cm;750 cm) h=40 cm

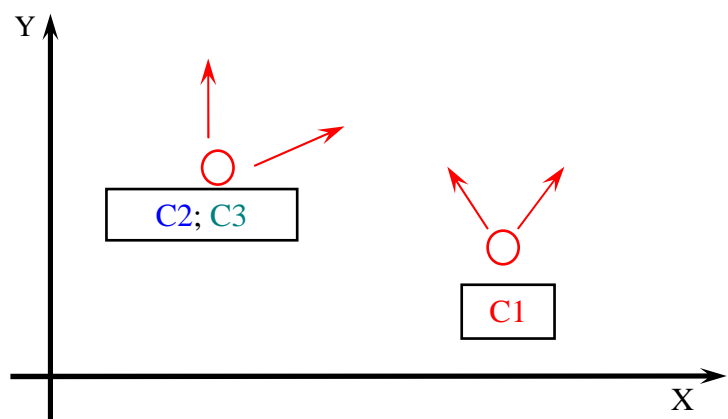
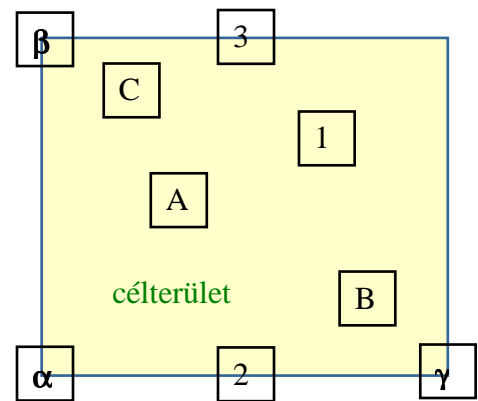
γ (350 cm;600 cm) h=30 cm

Kamera koordinátái:

C1(275 cm;358 cm) h=136 cm

C2(149 cm;400 cm) h=60 cm

C3(149 cm;400 cm) h=75 cm



49. ábra. A bóják és a kamera elhelyezkedése az alapfelületen⁷⁸

A paraméterek és három ismert pont koordinátáinak betáplálását követően a képen látható, „ismeretlen” koordinátájú pontok koordinátáinak meghatározása következett.

Összevetésre kerültek a fényképek alapján számított és a valóságos koordináták.

Kameraállás koordinátái:

Megnevezés	X koordináta [cm]	Y koordináta [cm]	Magasság [cm]	Felbontás [pixel]
C1	275,0	358,0	136,0	1792 x 1200
C2	149,0	400,0	60,0	592 x 400
C3	149,0	400,0	75,0	592 x 400

5. táblázat: A virtuális koordinátarendszerben elhelyezett kamera pozíciói⁷⁹

⁷⁸ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásához

⁷⁹ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásához

A pontok képsíkbeli koordinátái alapján visszafejtett koordináták:

	H [pixel]	V [pixel]	Y [cm]	X [cm]	H [cm]
α	Eredeti pozíció:		200,0	600,0	20,0
	243	694	199,7	601,1	20,1
	159	198	200,0	600,0	20,0
	148	240	200,2	600,6	20,1
β	Eredeti pozíció:		200,0	750,0	40,0
	443	266	200,7	746,0	39,5
	142	65	199,8	743,8	39,2
	73	124	198,9	742,8	39,0
γ	Eredeti pozíció:		350,0	600,0	30,0
	1411	624	350,0	600,2	30,0
	531	301	353,8	605,3	31,0
	522	180	349,1	599,1	29,8
A	Eredeti pozíció:		250,0	680,0	34,0
	675	406	249,6	678,5	33,8
	258	148	248,8	678,6	33,7
	215	152	248,0	676,7	33,4
B	Eredeti pozíció:		320,0	630,0	32,0
	1146	527	319,5	629,6	31,9
	436	245	320,7	632,5	32,4
	415	168	317,3	627,1	31,4
C	Eredeti pozíció:		235,0	730,0	39,5
	614	298	235,4	725,1	39,0
	209	101	232,0	723,5	38,6
	151	129	231,5	721,4	38,6
1	Eredeti pozíció:		300,0	700,0	40,0
	978	314	300,0	707,8	41,0
	344	165	298,6	697,5	39,6
	300	131	296,8	693,5	38,9
2	Eredeti pozíció:		275,0	600,0	25,0
	831	660	275,4	600,3	25,1
	370	257	276,3	602,2	25,4
	362	206	275,6	599,6	25,0
3	Eredeti pozíció:		275,0	750,0	45,0
	819	247	271,9	743,8	44,0
	270	113	268,7	742,5	43,6
	212	114	267,7	738,4	43,0

6. táblázat: Koordináták meghatározása a különböző kameraállásból készített digitális fényképek alapján⁸⁰

⁸⁰ Készítette: Horváth Zoltán [PRG3] alkalmazásával

Ebből megállapítottam, hogy a számítás eredményének hibája nem haladta meg a távolság $0,0 \div 1,54 \%$ -át. Tendenciáját tekintve minél kisebb felbontású képet alkalmaztam, minél távolabbi pont koordinátáját kívántam visszakeresni, illetve minél kisebb szögben néztem a célterületre, annál nagyobb lett a hiba.

A számítás hibája még abban keresendő, hogy:

- a célterület igen kis távolságra volt a kamerától (10-20 m-nél közelebb a fényképezőgép a fókuszálás során változtatja a fókusztávolságot);
- kommersz fényképezőgépet alkalmaztam (kis felbontás);
- ilyen kis térben készített felvétel esetén a kamera mérete nem elhanyagolható, nem tekinthető pontszerűnek;
- a fényképezőgép helyének és a célterület kijelölési pontatlansága milliméteres hiba esetén is a kis mérési térhez viszonyítva jelentős.

Valós körülmények között ezek a problémák elhanyagolhatóvá válnak, tehát m-es nagyságrendről többszáz m-es nagyságrendre történő áttérés esetén (valós terep, UAV-vel készített fénykép, GPS által történő pozíció meghatározás) az eredmény nagyságrendekkel pontosabb lehet.

3.8.2. Perspektivikus légi fénykép ortofotóvá konvertálása, az egyes ortofotók mozaikszerű egymáshoz illesztése

Ha egy perspektivikus képről bizonyos feltételek teljesülése esetén bármely érdeklődésre számot tartó pont koordinátái meghatározhatóak, akkor a teljes fénykép valamennyi pontjára az adott művelet elvégezhető, ekkor a perspektivikus képből ortofotó állítható elő. Azonos koordinátarendszerben készített perspektivikus képből előállított ortofotó mozaikok egy valamennyi mozaikot egyesítve átalakítható egyetlen ortofotóvá, mely ortofotó térképként alkalmazható.

A domborzat figyelembevételének lehetőségét már bizonyítottam, így ebben a kísérletben eltekintettem figyelembe vételétől, a felszínt az alapfelületre helyeztem (minden tereppont magassága = 0 m).

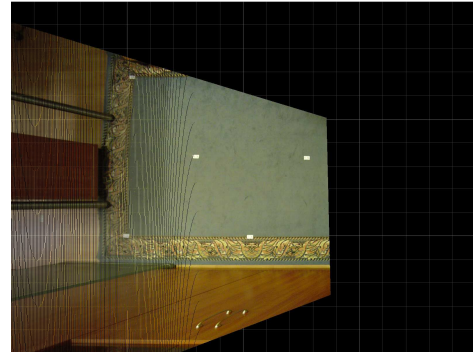
A fényképezőgép nyílásszögének meghatározására is sor került (26. összefüggés alapján) egy ortofotó alkalmazásával (függőleges felbontás: 1632 pixel, vízszintes felbontás: 1224 pixel, objektum távolsága: 347 cm, mérete (horizontális és vertikális): 170 cm).

A bizonyításhoz egy irodában található szőnyeget egy általam kijelölt, eltolt origójú koordinátarendszerben elhelyezve „ismert” koordinátájú pontokkal (jelölésekkel) láttam el.

Három pozícióból (általam megadott koordinátájú pontból) lefényképeztem a szőnyeget ügyelve arra, hogy a három fénykép legalább három, ismert koordinátájú pontot tartalmazzon (50.-52. ábrák⁸¹).



Perspektivikus kép (input)



Ortofoto (eredmény)

50. ábra. Perspektivikus és ortofoto (a)



Perspektivikus kép (input)

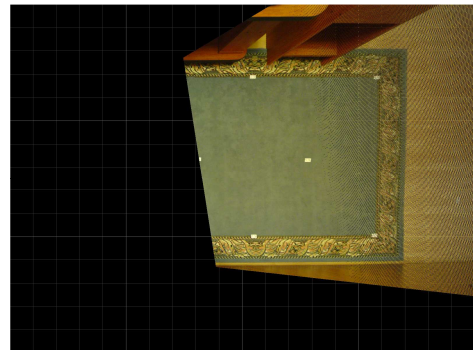


Ortofoto (eredmény)

51. ábra. Perspektivikus és ortofoto (b)



Perspektivikus kép (input)



Ortofoto (eredmény)

52. ábra. Perspektivikus és ortofoto (c)

⁸¹ Készítette: Horváth Zoltán [PRG4] alkalmazásához (input) a [PRG4] 4 alkalmazásával (output)

Mindhárom BMP kiterjesztésű digitális fénykép képpontjainak koordinátái alapján meghatároztam az adott képponthez tartozó pont alapfelületen mérhető síkkoordinátáit. Egy generált BMP fájlban (az adott tér alapfelülete) a megfelelő síkkordinátájú pont a színét a vetítősugár által dőfött perspektivikus kép képponjától örökölte. Az egyes generált BMP fájlok összefésülését követően megkaptam a három ortofotó által kialakított, mindhárom információtartalmát őrző ortofoto térképet (53. ábra).

Szemmel látható az ábrán, hogy az illesztések mentén néhány pixel eltérés tapasztalható. Ezt szintén az előző alfejezetben felsorolt, számítási hibát okozó faktorok okozhatták.

Valós (nagy kiterjedésű terepről, több mint 100 m magasságból készített felvételek esetén), és nem modellezett körülmények között (néhány m² terület, méteres nagyságrendbeli kameramagasság, ahol a cm-es eltérés is komoly számítási hibát okoz) ezek a problémák nem merülnek fel, tehát valós körülmények között az eredmény nagyságrendekkel lehet pontosabb.

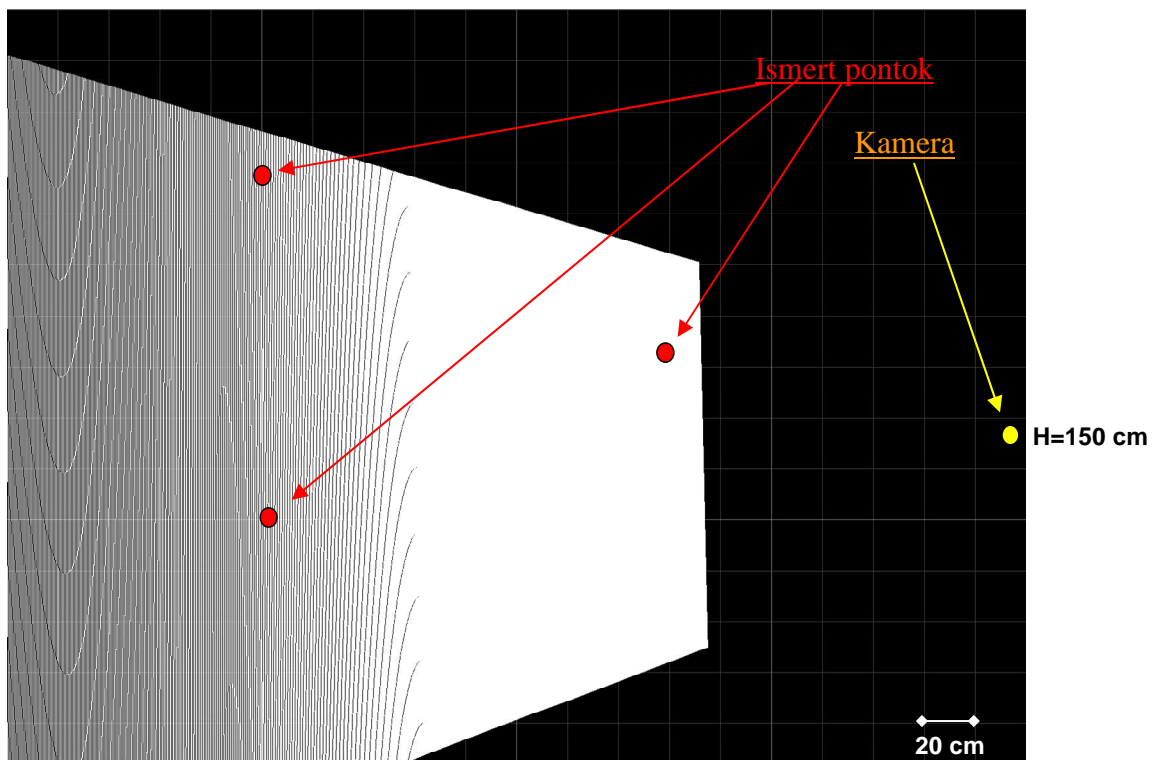


53. ábra. Három ortofotóból előállított ortofoto térkép⁸²

⁸² Készítette: Horváth Zoltán [PRG4] alkalmazásával

A valóságos terepen készült perspektív képek DDM alkalmazásával történő feldolgozását követően megjelenhetnek, és jól azonosíthatóvá válnak a domborzat kitakarása végett kialakuló holt- és alulmintavételezett zónák.

A fenti (50. ábra) ortofotó képpontjait az eredeti szín helyett fehérrel helyettesítve jól láthatóvá válik az alul-mintavételezett zóna (nem folytonos a kép kitöltése, vannak benne nem érintett, képpontok). Jelen esetben azért nem jelent meg holtzóna, mert a vizsgált felület sík volt. (54. ábra).



54. ábra. Alul-mintavételezett terület az ortofotón

3.9. Következtetések

Az alkalmazott matematikai apparátus egyszerű, jól áttekinthető. A modellezés alkalmával bebizonyosodott, hogy ezzel a módszerrel, megfelelő szoftver kialakításával, a fényképen látható objektumok térbeli koordinátáinak meghatározása másodpercek kérdése csupán. A koordináták meghatározása során fellépő hibák pontosabb vizsgálata céljából célszerű lenne valódi, 100 – 1000 méter magasságból készített perspektivikus fényképek analizálása, valódi Digitális Domborzat Modell alkalmazásával, erre azonban a kutatásaim során nem volt mód.

A fényképek analizálásának ez egy új módszere. Bizonyítást nyert, hogy egy egyszerű, gyors és jól áttekinthető matematikai apparátus alkalmazásával ez az UAV-k alkalmazásának

új perspektívája, mely alkalmazás során a digitális képből pozicionálásra alkalmas, nagyméretarányú digitális ortofotomozaik készíthető. A digitális felvételek gyorsan továbbíthatók, szükség esetén gyors utófeldolgozás keretében digitális ortofotomozaik szerkeszthető.

Összegzett következtetések

Az UAV-k fejlődését és az ezzel foglalkozó tudományterület létezését napjainkban már senki nem kérdőjelezi meg. Az adott tématerület kutatása multidiszciplináris tudomány, több mérnöki kutatási területet egyesít.

Kutatásaim tárgyát a kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek repülésbiztonságának növelése, képességeinek fejlesztése képezte.

A repülésbiztonság növelése érdekében megvizsgáltam a rádiócsatorna modellezésének lehetőségeit, kutatva, hogy milyen módon lehet meghatározni azon terepszakaszokat, ahol az összeköttetés bizonytalanná válhat.

Kutattam, hogy milyen módon lehet elkerülni az előzetes útvonaltervezés során bevitt szubjektív emberi hibákat, figyelembe venni a küldetést fenyegető terepdomborzat okozta veszélyeket, és ennek eredményeként megalkottam a terepkövető repülési mód feltételrendszerét. Nagyon lényeges kérdés ezen eredmények további használhatósága szempontjából, hogy ezek a programok, adatbázisok implementálhatók-e a rendelkezésünkre álló, vagy beszerzésre tervezett pilóta nélküli repülőgép rendszerre. Amennyiben nem, akkor csak egy különálló számítógépen futtathatók az összeköttetést vizsgáló, illetve az útvonaltervező programok. Ha egy meglévő, vagy fejlesztés alatt álló rendszer szabadon bővíthető, akkor ezen programok korábban nem látott, például vészhelyzet kezelő algoritmusok megvalósításához nyújtanak alapot.

A kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek lehetőségei, a fedélzet hasznos terhelhetősége korlátozott. Megvizsgáltam, miként lehet kivitelezni az UAV-k által készített légi fényképek ortofoto fényképekké alakítását. Ez a lehetőség üzemeltetési költség, kezelő személyzet képzettsége, gyors reagálás és végrehajtás szempontjából a hagyományos eljárásokhoz képest gyorsabb, költséghatékonyabb.

A kutatásaim során feltevéseim, megfogalmazott algoritmusaim kivitelezhetőségének ellenőrzésére kísérletként előre berendezett helyszínen fényképeket készítettem, számítógépes

programokat írtam és futtattam valóságos, illetve számítógépes program által generált domborzatmodell alkalmazva.

Kutatásaim során **definiáltam a meglévő architektúrára építhető és integrálható eljárások és algoritmusok egész sorát.** Olyan eljárásokat, algoritmusokat fogalmaztam meg, melyek a tervezés, szervezés és kivitelezés folyamata során akár a földi irányítópont számítástechnikai apparátusába, akár az UAV fedélzeti számítógépébe beépíthető, **növelve a repülés biztonságát, egyszerűsítve a tervezés és végrehajtás feladatait, bővítve az UAV lehetőségeit, mely által más, költségesebb erőforrások igénybevétele mellőzhető.**

Összességében tehát három látszólag egymástól meglehetősen távol álló szakmai probléma vizsgálatát végeztem el, amelyek közös alapja a Digitális Domborzat Modell által nyújtott lehetőségek, megközelítési módok alkalmazása volt, közös eredménye pedig a pilóta nélküli repülőgépek biztonságosabb bevetéstervezése, technikai lehetőségeinek növelése lett. Mindhárom kutatási részterület napjainkban teljesen újdonságnak számít, a kis- és közepes magasságtartományban repülő pilóta nélküli eszközök fejlesztése, alkalmazása területén – legjobb tudomásom szerint – ilyen vizsgálatokat, tervezési eljárásokat, képfeldolgozási folyamatokat nem végeznek.

Az értekezés új tudományos eredményei

Értekezésem új tudományos eredményeinek tekintem:

- a kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek biztonságos irányításához szükséges rádiócsatorna diffrakciós terjedési modelljeinek vizsgálatával és az ezekhez készített szimulációs program eredményeinek elemzésével annak megállapítását, hogy a Deygout modell alapján készített ellátottsági- és árnyékdiagramok alkalmazása szükségeszerű, velük növelhető a repülés biztonsága;
- a pilóta nélküli repülőgép repülési profiltervező rendszerének elméleti kidolgozását, a gyakorlati modell számítógépes megalkotását, amely a DDM alkalmazásával lehetővé teszi az UAV „terepkövető” repülési módjának megvalósítását, az operátor által bevitt szubjektív, útvonal-tervezési hibák kiküszöbölését;
- azon elméleti alapok kidolgozását és gyakorlati kísérletekkel való igazolását, amely alapján a kis- és közepes magasságon készített – a domborzat által torzított – perspektivikus fényképek megfelelő követelmények teljesülése esetén ortofoto képpé transzformálhatók, a transzformált képek egymáshoz illesztésével ortofoto térkép hozható létre, mely növeli az UAV alkalmazási lehetőségeit.

Az értekezés ajánlásai

Értekezésemben rámutattam a kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgépek küldetéstervezésének problematikájára, a képességek fokozásának lehetőségére.

Az összeköttetés folyamatosságát figyelembe véve, a rádiócsatorna átjárhatóságát vizsgálva kiderült, hogy az általam vizsgált terjedési modellek jól algoritmizálhatók, a terjedési modellek és a domborzatmodellek alkalmazásával az összeköttetés megvalósíthatósága vizsgálható, de ez csak egy elméleti sík. Az egyes modellek viselkedése eltérő. Célszerű terepen végzett mérések és az egyes terjedési modellek eredményeinek összevetése, értékelése annak érdekében, hogy a gyakorlati mérésekkel alátámasztható legyen, hogy a Deygout modell a legalkalmasabb ellátottsági- és árnyékdiagram készítéséhez.

Az ellátottsági- és árnyékdiagramok alkalmazása a tervezés és végrehajtás során a küldetés sikeressége, helyes tervezése szempontjából nagy segítséget nyújthat. Célszerűnek tartom az ellátottsági- és árnyékdiagramok repülési útvonal tervezési folyamatába történő bevonását. A domborzat figyelembe vételével kidolgozott repülési útvonal tervezési lehetősége jelentősen csökkentheti a tervező állomány tevékenységének bizonytalanságát. Célszerűnek tartom a domborzat figyelembe vételének alkalmazását az útvonal tervezése során, összehasonlítását a hagyományos tervezési eljárással a hatékonyság és biztonság szemszögéből.

Javaslom a domborzat figyelembe vételével kidolgozott repülési útvonalak berepülés útján történő tesztelését, mely által kimutatható a fedélzeti rendszer működése és a repülési feladat végrehajthatósága közti diszharmonia. A kis- és közepes magasságú repülés során készített perspektivikus képek modellezése során felmerülő, hibát okozó tényezők csak valószínű körülmények között szűrhetők ki.

Értekezésemben megfogalmazott eredményekkel felhívom az UAV kutatók és tervező mérnökök figyelmét a földi irányító pont és a fedélzeti számítógép által alkalmazott szoftverrendszer moduláris kiegészíthetőségének lehetőségére. Értekezésem felhasználható a kapcsolódó további kutatásokhoz, valamint a műszaki oktatásban.

Budapest, 2009. augusztus - n.

Horváth Zoltán

Mellékletek

[M1]: Diffrakciós terjedési modellek vizsgálata

A Digitális Terepmodell különböző pontjain keresztül végeztem terepmetszéseket adott frekvencia és antennaparaméterek mellett. A cél a különböző diffrakciós modellek működésének vizsgálata.

A program azért nem végzi el a terepmetszetek csúcsainak automatikus analizálását, mivel a valóságban a terepmetszet csúcsai nem feltétlenül diffrakciós kérések. Annak eldöntése, hogy a terepmetszet mely csúcsait vegyük figyelembe elég szubjektív és ezért nehezen algoritmizálható. A program ennek eldöntését a felhasználóra bízta.

A futtatás eredményei természetesen tartalmazzák a kiindulási paramétereket táblázatos formában (koordináták, antenna-paraméterek, frekvencia).

A program automatikus csúcskeresési eredménye alapján az egyes diffrakciós csúcsok kijelölési sorrendjét a rádiócsatorna végpontjaira vonatkoztatott I. Fresnel-zóna takarás mértékének sorrendjében végeztem (dominancia sorrend).

Az elmentett képernyőtartalom azt a csúcskijelölési állapotot tartalmazza, amelynél a Deygout modell által becsült szakaszcsillapítás még épp nagyobb az Epstein-Peterson, vagy a Japán modell által becsült értéknél.

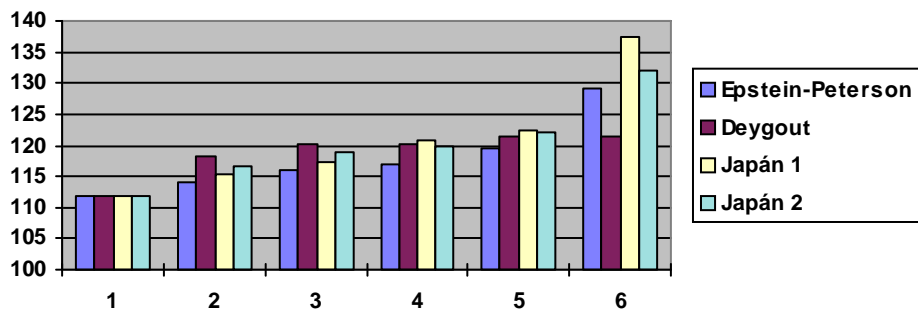
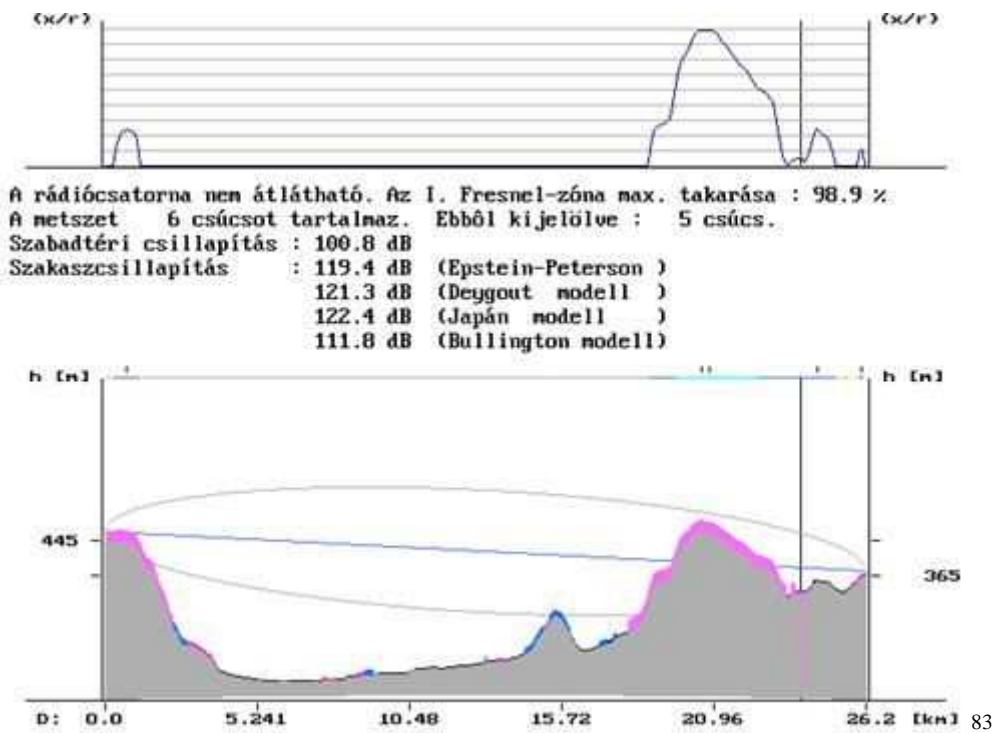
A Japán modell a vizsgálat irányára mutatott aszimmetriája miatt az egyes metszeten mindkét irányba végeztem analízist Japán modell alkalmazásával.

Az egyes modellek által becsült csillapítást a képernyőtartalom alatt grafikonban ábrázoltam a figyelembe vett diffrakciós csúcsok mennyiségének függvényében.

Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy az antennák izotróp sugárzók. Ez az egyszerűsítés a tendenciákon nem változtat.

A Bullington modell a kijelölt csúcsokat figyelmen kívül hagyja, ezért ezeket az adatokat a grafikonban nem tüntettem fel.

rádiócsatorna végpontja	antenna	antenna
paraméter	(baloldali)	(jobboldali)
északi szélesség	46° 49' 03"	46° 59' 45"
keleti hosszúság	17° 19' 55"	17° 33' 25"
antenna magassága [m]	20	10
üzemi frekvencia [MHz]	100	

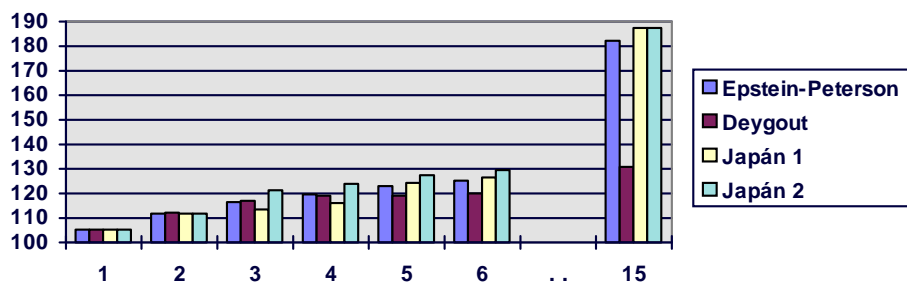
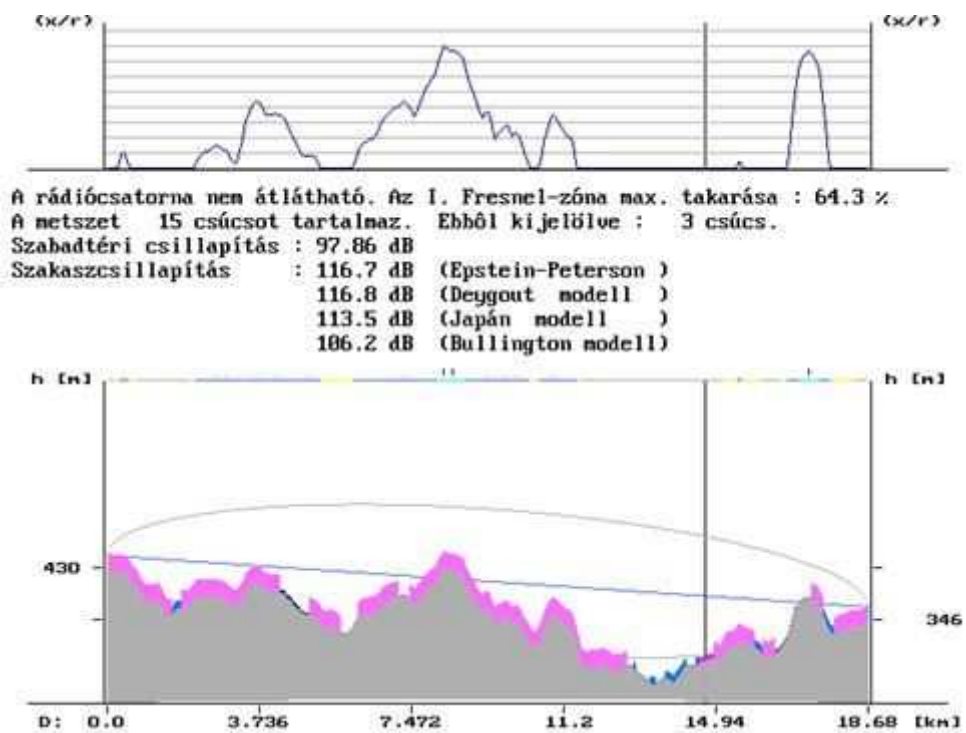


M-1. ábra. Az első terepmetszet futtatási eredményei⁸⁴

⁸³ A kép grafikai minősége a kis felbontás (640x480 pixel) és az invertálás miatt gyengébb a többi ábránál.

⁸⁴ Készítette: Horváth Zoltán [PRG1] alkalmazásával

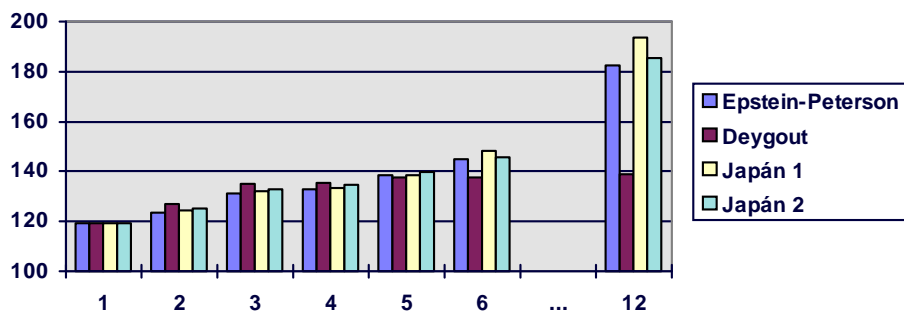
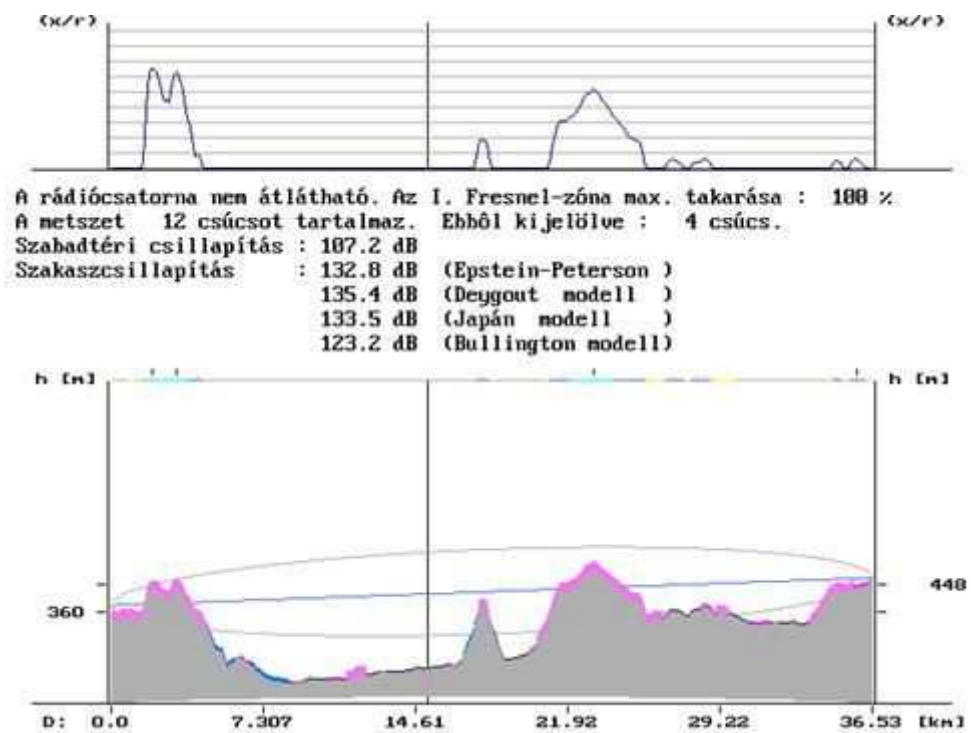
rádiócsatorna végpontja	antenna	antenna
paraméter	(baloldali)	(jobboldali)
északi szélesség	46° 06' 15"	46° 10' 57"
keleti hosszúság	18° 05' 35"	18° 18' 25"
antenna magassága [m]	20	20
üzemi frekvencia [MHz]	100	



M-2. ábra. A második terepmetszet futtatási eredményei⁸⁵

⁸⁵ Készítette: Horváth Zoltán [PRG1] alkalmazásával

rádiócsatorna végpontja	antenna	antenna
paraméter	(baloldali)	(jobboldali)
északi szélesség	46° 48' 33"	47° 02' 57"
keleti hosszúság	17° 17' 55"	17° 37' 35"
antenna magassága [m]	20	20
üzemi frekvencia [MHz]	150	



M-3. ábra. A harmadik terepmetszet futtatási eredményei⁸⁶

⁸⁶ Készítette: Horváth Zoltán [PRG1] alkalmazásával

[M2]: A PKI DTM-200 adatbázis ismertetése

A Posta Kísérleti Intézetben az 1970-es évek végén három földrajzi koordinátákban szabályos (raszteres) Digitális Terepmodellt készített, melyek azonosító számai a támponttávolságok közelítő értékei [28]. Az egy támpontra vonatkozó információs-rekord felépítése valamennyi modellnél azonos.

A DTM-200 alapja az Egységes Országos Térképezési Rendszer (EOTR) szelvényezésben készült 1:25 000 méretarányú polgári térképmű volt. Az adatbázis minden támpontja kb. 200x200 m méretű terepelemet takar. Magassági pontossága: $\pm 0,5$ m.

A DTM-3000 Európa területének 44 %-át fedi le (Magyarország 600 km sugarú környezetére készült). Alapja az 1:500.000 méretarányú Tactical Pilotage Chart, illetve az 1:1.000.000 méretarányú Operational Navigation Chart. Terepelemeinek közelítő mérete 3x3 km, magassági pontossága: $\pm 1,6$ m.

A DTM-1000 adatbázis gyors, kisebb pontossági igényű vizsgálatokhoz készült. Alapja a DTM-200 adatbázis, melynek 5x5 terepelemének összevonásával alakították ki. Magassági pontossága: $\pm 0,5$ m.

A PKI DTM-200 adatbázis felépítése

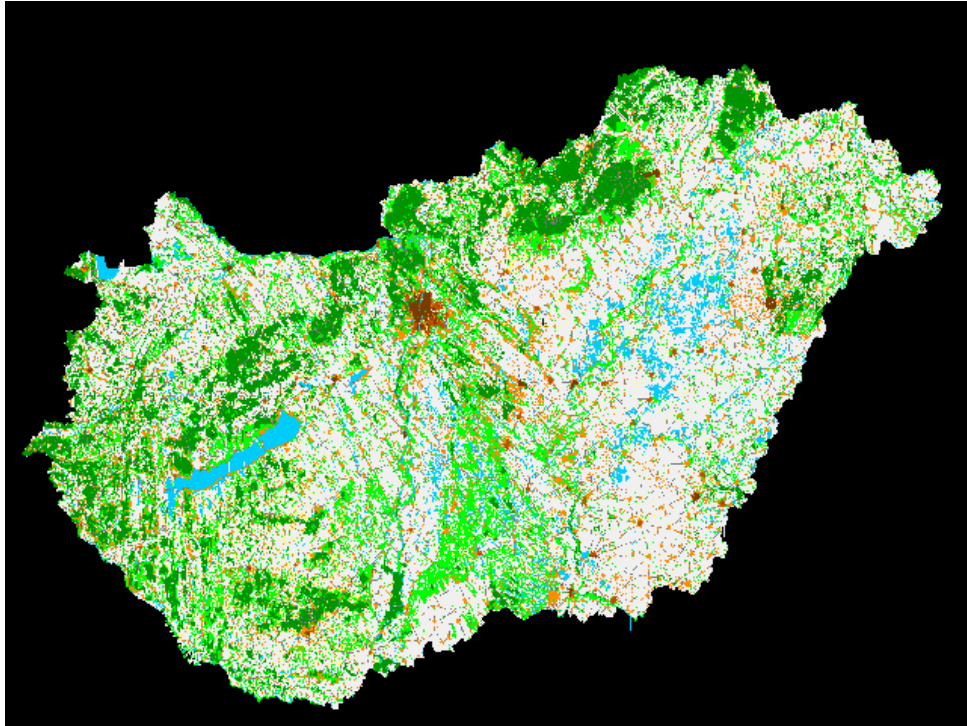
A Gauss-Krüger vetületi rendszerű raszteres adatállománya a $\varphi=45^\circ 40' 00''$ és $\varphi=48^\circ 40' 00''$ földrajzi szélességi körök, illetve $\lambda=16^\circ 00' 00''$ és $\lambda=23^\circ 00' 00''$ földrajzi hosszúsági körök által határolt területet tartalmazza. Támpontjai $\Delta\varphi = 06''$ valamint $\Delta\lambda = 10''$ szögtávolságra vannak egymástól (M-5. ábra).

A K-Ny-i támponttávolság:

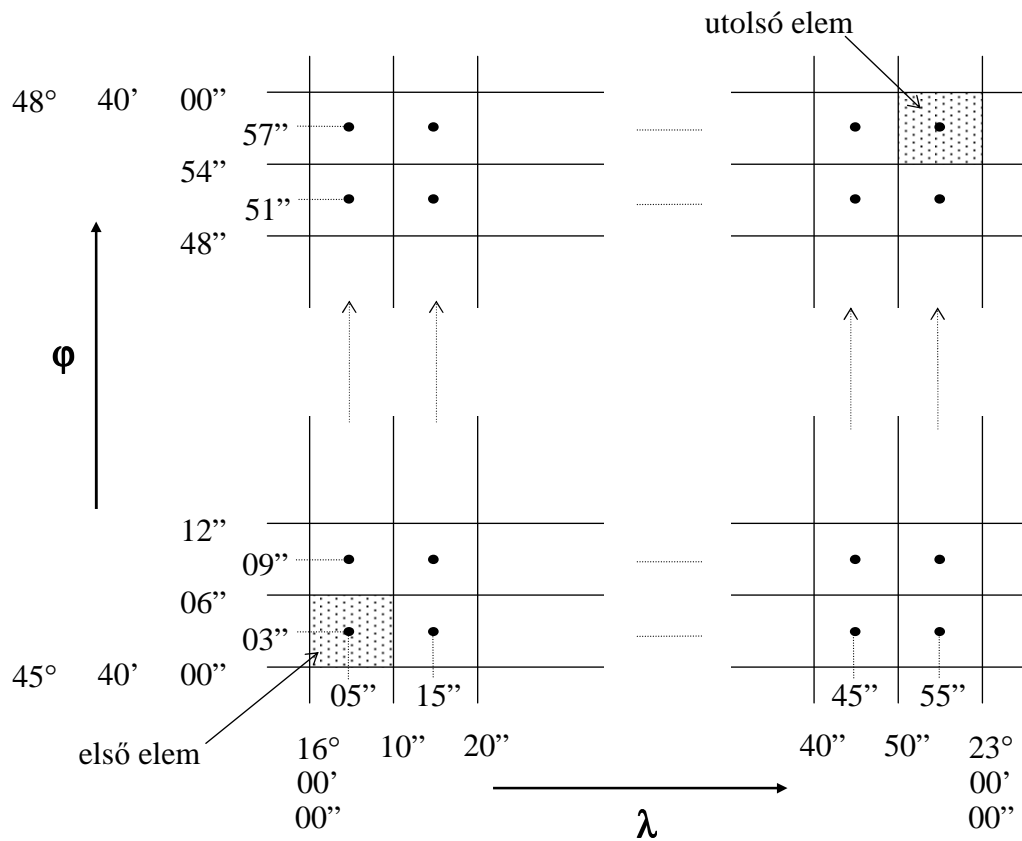
$$\begin{aligned} R_f \cdot \cos(45^\circ 40') \cdot 10'' &= 217,5 \quad [m] \\ R_f \cdot \cos(48^\circ 40') \cdot 10'' &= 205,7 \quad [m] \end{aligned} \tag{M-1}$$

Az É-D-i támponttávolság:

$$R_f \cdot 6'' = 185,3 \quad [m] \tag{M-2}$$



M-4. ábra. Magyarország Digitális Terepmodellje a PKI DTM-200 fedési kódjai alapján⁸⁷



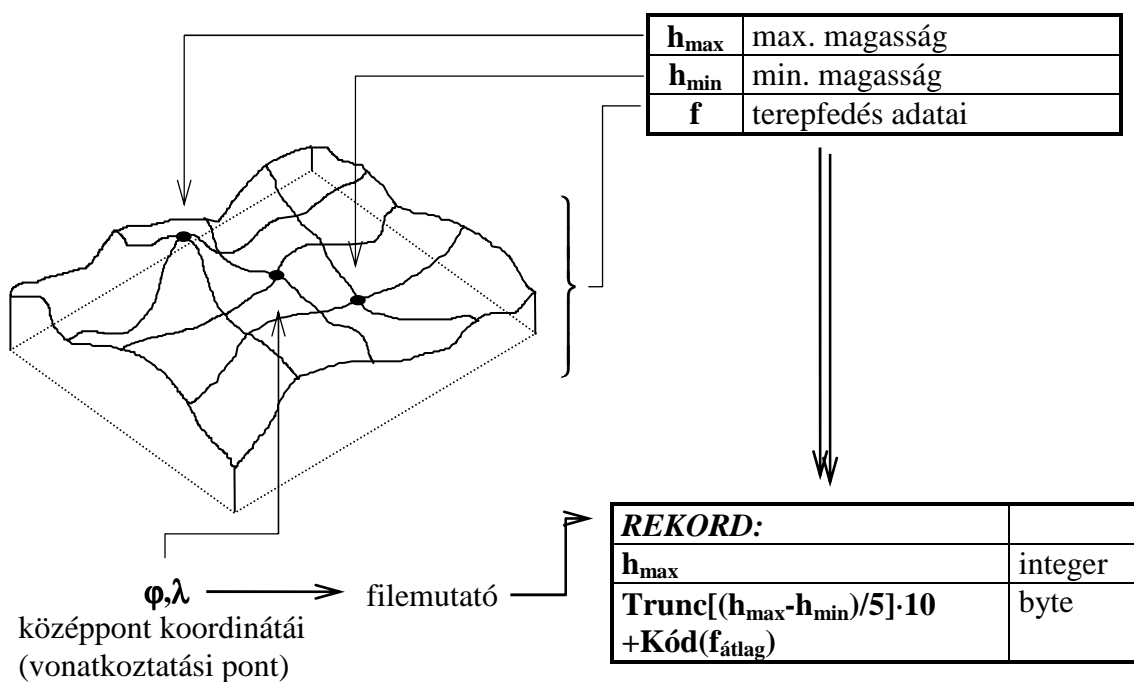
M-5. ábra. A DTM-200 támpontkiosztása⁸⁸

⁸⁷ Készítette: Horváth Zoltán [PRG1] alkalmazásával

⁸⁸ Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján

Az adatállomány minden támpontját egy rekord írja le, amely három réteg adatait tartalmazza (M-5. ábra):

- a támpont területén mérhető maximális (Balti-) tengerszint feletti magasság;
- a támponton belül mérhető maximális magasságkülönbség kódja (5 méteres lépésekben);
- fedettségi kód, mely a terepelemen belül elhelyezkedő tereptárgyak jellegére utal. Ha egy terepelemre egyidejűleg több fedettségi kód is vonatkozik, akkor a nagyobb magasságú a domináns (M-1 táblázat).



M-6. ábra. Egy támpont adatainak rekordba szervezése⁸⁹

A rekordok adatfájlban elfoglalt sorrendje a következő (M-4 ábra):

- az első rekord koordinátái $\phi = 45^\circ 40' 03''$, $\lambda = 16^\circ 00' 05''$;
- a rekordok oszlopfolytonosan követik egymást (észak felé).

⁸⁹ Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján

A rétegek tárolása a rekordban (M-5 ábra, M-1 táblázat):

- maximális magasság;
- maximális magasságkülönbség;
- fedési kód.

kódszám	jellemzett terepfelszín	átlagmagasság
1	mező, rét, szántóföld	0 m
2	vízfolyás, tó, vizenyős terület	0 m
3	bokros terület	2 m
4	gyümölcsös, "kiserdő"	5 m
5	kifejlett magas erdőség	25 m
6	épített út	0 m
7	település (falu)	10 m
8	település (város)	15 m
9	település (nagyváros)	20 m

M-1. táblázat. A DTM-200 fedési kódjai⁹⁰

Egy rekord hossza: 3 byte

Az adatállomány hossza:

- északi szélesség szerint: 1800 sor
- keleti hosszúság szerint: 2520 oszlop

Ez: 4.536.000 rekord, ami rekordonként 3 byte, vagyis: 13.608 kbyte.

⁹⁰ Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján

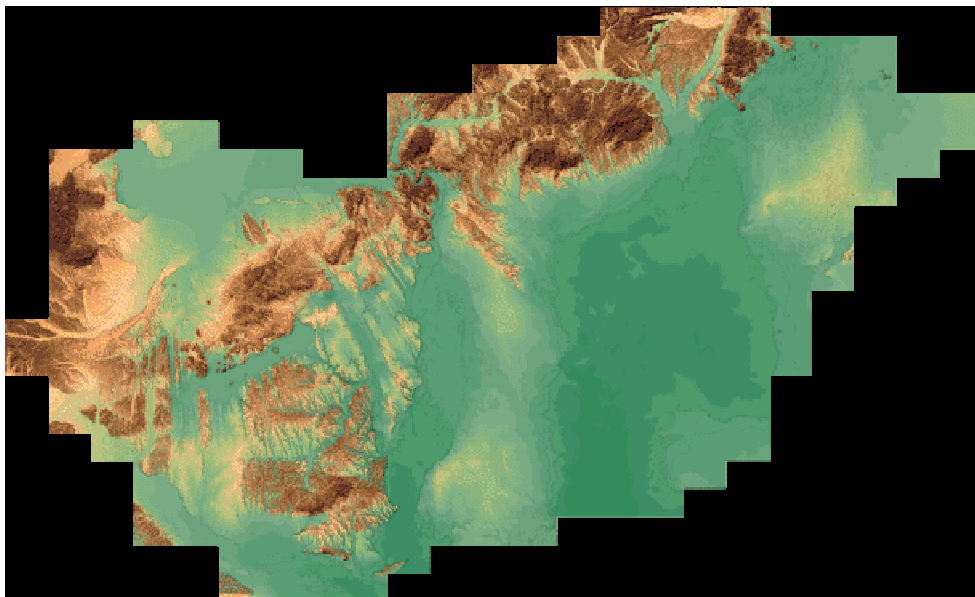
[M3]: A DDM-50 adatbázis ismertetése⁹¹

A Magyar Honvédség Térképész Szolgálat az 1980-as évek elejétől foglalkozik a térképek digitális feldolgozásának témakörével. A fejlesztő munka eredményeként a 80-as évek második felében elkészült a Geodéziai Adatbázis (GAB) és az 1:200 000 méretarányú digitális térképészeti adatbázis (DTA-200). Ezt követte a 10 x 10 méteres és 50 x 50 méteres Digitális Domborzat Modell (DDM-10 és **DDM-50**), majd az 1:50 000 méretarányú Digitális Térképészeti adatbázis (DTA-50).

DIGITÁLIS DOMBORZAT MODELL (DDM-50)

A Digitális Domborzat Modell Magyarország területére vonatkozóan tartalmazza a felszín tengerszint (Balti alapszint) feletti magasságát egy 50 x 50 méteres rács pontjaiban. Az adatforrás az 1:50 000 méretarányú 1985-91-évi kiadású katonai topográfiai térképek szintvonalas domborzati eredetije.

Az adatállomány EOV vetületi rendszerű raszter-adatstruktúrában, 1:100 000 méretarányú EOTR szelvényekre bontva áll rendelkezésre, de hozzáférhető UTM és Gauss-Krüger rendszerben is. A teljes adatállomány mérete EOV vetületi rendszerű raszter-adatstruktúrában 105 Mbyte, adatformátuma kétbájtos integer, sorfolytonos szervezéssel.



M-7. ábra. Magyarország Digitális Domborzat Modellje a DDM-50 alapján.

⁹¹ [30] kivonatos átvétele

[M4]: Az értekezés elkészítése során készült és alkalmazott programok funkcionális leírása:

- **PRG1 :**

- **célja:** pont-pont közötti összeköttetés vizsgálata különböző terjedési modellek alkalmazásával;
- **felhasznált adatok:** PKI DTM-200 adatbázis, rádiócsatorna paraméterei (adó- és vevőpont koordinátái, antennamagasságok, antennanyereségek, üzemi frekvencia) (M-1, M-2, M-3, M-4 ábrák);
- **eredmény:** a különböző terjedési modellek által becsült diffrakciós fading becsült értéke (terepmetszet készítés, csúcsok automatikus kijelölése, csúcsok dominanciájának automatikus megállapítása, kijelölt csúcsok alapján diffrakciós fading számítása);
- **eredmény megjelenése:** A képernyőn a kijelölt csúcsok alapján – különböző diffrakciós terjedési modellek figyelembe vételével – a diffrakciós fading számításának eredménye. Grafikus formában az adóantenna és a vevőantenna közötti terepmetszet, az I. Fresnel-zóna, a terepmetszet alapján meghatározott diffrakciós csúcsok és azok dominanciája (M-1, M-2, M-3, M-4 ábrák).

- **PRG2 :**

- **célja:** biztonságos repülési útvonal tervezése az UAV képességeinek, illetve a terepdomborzat figyelembe vételének útján;
- **felhasznált adatok:** DDM-50 adatbázis, MS Excel (*.CSV) formátumban tárolt repülési útvonalterv (1. táblázat), UAV repülési, manőverezési képessége;
- **eredmény:** részletes, illetve posztprocesszált, biztonságosan repülhető útvonalterv MS Excel (*.CSV) formátumban;
- **eredmény megjelenése:** a biztonságosan repülhető útvonal MS Excel (*.CSV) formátumban, adatfájlként jelenik meg (2, 3, 4. táblázat). A képernyőn grafikus formában jelenik meg az útvonalterv vertikális vetülete, az UAV repülési paraméterei és képességei. Megjelenik a repülési útvonal teljes hosszában az útvonal terepmetszete, horizontális biztonsági távolsági tartalék figyelembe vételének eredménye, valamint az emelkedési- és süllyedési képesség figyelembe vételével a végleges repülési útvonalterv (32, 33, 34. ábra).

- **PRG3 :**

- **célja:** perspektivikus fényképek alapján „ismeretlen pont” koordinátáinak és magasságának meghatározása;
- **felhasznált adatok:** generált DDM [PRG6 által], a fényképen azonosítható három pont vetületi koordinátái és magassága, a kamera látószögének adatai (47. ábra alapján) és pozíciója (5. táblázat), perspektivikus fényképről (48. ábra) leolvasott „érdeklődésre számot tartó” pont képi koordinátái;
- **eredmény:** az „érdeklődésre számot tartó” pont a generált DDM-ben meghatározott vetületi koordinátái, valamint magassága;
- **eredmény megjelenése:** a képernyőn az „érdeklődésre számot tartó” pont vetítősugárral, az alapfelületen döfött alapfelületi koordinátái, illetve a DDM figyelembe vételével az „érdeklődésre számot tartó” pont vetületi koordinátái és magassága (6. táblázat).

- **PRG4 :**

- **célja:** perspektivikus fényképek alapján ortofoto előállítás előzetesen létrehozott [PRG5] képfájlba (a forrásfájl tömörítetlen, 24 bites, *.BMP);
- **felhasznált adatok:** előzetesen létrehozott képfájl, „generált” DDM (minden ponthoz tartozó magasság értéke = 0 m), a fényképen azonosítható három pont vetületi koordinátái és magassága (0 m), a kamera látószögének adatai, a perspektivikus (tömörítetlen *.BMP) fénykép (50, 51, 52. ábra);
- **eredmény:** ortofoto (a cél fájl tömörítetlen, 24 bites, *.BMP);
- **eredmény megjelenése:** Az eredmény képfájlként jelenik meg (50, 51, 52, 53. ábra).

- **PRG5 :**

- **célja:** Léptékhelyes többszintű rácshálózattal ellátott, 24 bites, üres (fekete) *.BMP képfájl előállítása [PRG4] részére;
- **felhasznált adatok:** cellaméret, „kis” lépték, „nagy” lépték, képméret, adatai;
- **eredmény:** üres (fekete), léptékvonalakkal ellátott, tömörítetlen 24 bites, *.BMP fájl;

- **eredmény megjelenése:** Az eredmény az adathordozón képfájlként (tömörítetlen *.BMP) jelenik meg.
- **PRG6 :**
 - **célja:** Virtuális sík alapján képzett DDM létrehozása [PRG3] részére;
 - **felhasznált adatok:** a virtuális sík egyenlete.
 - **eredmény:** DDM, mely adatbázis illeszkedik a [PRG3] alapján megvalósított kísérlethez;
 - **eredmény megjelenése:** Az eredmény az adathordozón DDM fájlként jelenik meg.

Felhasznált irodalom jegyzéke

- [1] Benkő Tiborné - Hegedűs András: IBM PC programozása Turbó Pascal nyelven
BME Mérnöktovábbképző Intézet, 1989
- [2] Benkő Tiborné - Hegedűs András:
IBM PC programozása Turbó Pascal 6,0-ban példatár II.
BME Mérnöktovábbképző Intézet, 1989
- [3] Ébert László: A fejlesztés és a modernizáció katonai-gazdasági kérdései (egy konkrét program kapcsán)
www.koz-gazdasag.hu/images/stories/4per2/11-ebert.pdf
(2009. 08. 02.)
- [4] Wühl Tibor: Kisméretű pilóta nélküli repülőgépek biztonságtechnikája (PhD értekezés 2007)
http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2008/wuhrl_tibor_thu.pdf
(2009. 08. 02.)
- [5] Gácsér Zoltán: Napjaink katonai műveleteiben alkalmazott pilóta nélküli repülőeszközök
www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/gacser_zoltan.pdf
(2009. 08. 02.)
- [6] Kovács László-Ványa László: Pilóta nélküli repülőgépek kutatás-fejlesztési tapasztalatai Magyarországon
Hadtudomány XVII. Évfolyam 2. szám 2007. június
http://www.zmne.hu/kulso/mhtt/hadtudomany/2007/2/2007_2_5.html#1
(2009. 08. 04.)
- [7] Kovács László: Az elektronikai felderítés korszerű eszközei, eljárásai és azok alkalmazhatósága a Magyar Honvédségben (PhD értekezés 2003)
http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2004/kovacs_laszlo_thu.pdf
(2009. 08. 02.)
- [8] Koncz Miklós Tamás: A METEOR-3R célrepülőgép alkalmazása és elektronikai rendszerei (PhD értekezés 2009)
http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2009/koncz_miklos_tamas_thu.pdf
(2009. 08. 02.)
- [9] Szabolcsi Róbert: Pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott követelmények vizsgálata – az „alpha csoport”
Elektronikus Műszaki Füzetek V. (p.-23-34)
Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, ISBN 978-963-7064-19-7, Debrecen 2008, Szerkesztő: Pokorádi László
<http://ganyemedes.lib.unideb.hu>
(2009. 08. 02.)

- [10] Dr Lits Gábor alezredes: A felderítés korszerű, biztonságos eszközei – a pilóta nélküli légi járművek (UAV)
MK KFH Felderítő Szemle VI. évfolyam 2. szám 2007. július (p.-59-71)
<http://www.kfh.hu/publikaciok/2007-2.pdf>
(2009. 08. 02.)
- [11] Horváth Zoltán mérnök őrnagy: A repülő csapatok alkalmazása a felderítésben (PhD értekezés 2004)
http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/phd/2005/horvath_zoltan_thu.pdf
(2009. 08. 02.)
- [12] J. D. Parsons: The Mobile Radio Propagation Channel.
Pentech Press, London, 1992
- [13] Dr. Istvánffy Edvin: Tápvonalak, antennák, hullámterjedés
Tankönyvkiadó, Budapest, 1984
- [14] Dr. Istvánffy Edvin: Mikrohullámok technikája és rádiólokátorok
Tankönyvkiadó, Budapest, 1957
- [15] Almássy György: Mikrohullámú kézikönyv
Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1973
- [16] Géher Károly fsz.: Híradástechnika
Műszaki könyvkiadó, Budapest, 2000
- [17] Dr. Varga József: Alaphálózatok I. (Vetülettan) J9-1244
Tankönyvkiadó, Budapest, 1991
- [18] II. Országos Térinformatikai Konferencia
Szolnok 1992. X. 15-16.
- [19] OMFB:A térinformatika és alkalmazásai (Tanulmány)
Budapest, 1993 június
- [20] Márkus Béla fsz: Bevezetés a térinformatikába
Budapest, 1993
- [21] III. Országos Térinformatikai Konferencia
Szolnok 1993. IX. 23-24.
- [22] Dr. Detrekői Ákos – Dr. Szabó György: Bevezetés a térinformatikába
Nemzet Tankönyvkiadó, Budapest, 1995
- [23] Zentai László: Számítógépes térképészet
ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 2000
- [24] Varga József: Vetülettan
Műegyetem kiadó, Budapest, 1997
- [25] Horváth Zoltán: Diplomamunka
BME MHT Budapest, 1997
- [26] Wireless Communication, Radio Propagation models,
http://people.seas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html
(2009. 07. 31.)
- [27] Dr. Sárközi Ferenc : Térinformatika, távoktatási tananyag
http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/
(2009. 07. 31.)

- [28] Koós Árpád: Digitális terepmodellek alkalmazása
Országos Térinformatikai Konferencia, 1992
<http://www.otk.hu/cd19xx/1992/koosarpad.htm>
(2009. 06. 24.)
- [29] Térinformatikai adatok
http://terinformatika-online.hu/Content_upload/Rovatok/egyeb/html/pdf/art/2003-7-20.pdf
(2009. 06. 24.)
- [30] Digitális térképészeti adatbázisok – DDM
<http://www.topomap.hu/index.php?theme=HMTKHT&lang=hun&menu=products&submenu=ddm&cont=ddm&styleprint=1>
(2009. 06. 24.)
- [31] Műszaki leírás – DDM (Adatkészlet áttekintése)
<http://www.topomap.hu/contents/hun/others/muszakileirasddm.php?theme=HMTKHT&lang=hun>
(2009. 06. 24.)
- [32] Micropilot UAV autopilots homepage
<http://www.micropilot.com/>
(2009. 07. 31.)
- [33] UAV Flight Systems homepage
<http://www.uavflight.com/>
(2009. 08. 04.)
- [34] Dr. Varga József: A vetület nélküli rendszerektől az UTM-ig
http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm#Gauss-Kruger
(2009. 06. 24.)
- [35] Dr. Varga József: GPS alapismeretek
http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/gps/kezdoknek.html
(2009. 06. 24.)
- [36] Geotérképészet – Kartográfia
<http://www.geothink.hu/html/egyetem/karto/b10.html>
(2009. 08. 04.)
- [37] Bódis Katalin: Geometriai transzformációk, transzformációs egyenletek és alkalmazásuk a geoinformatikában
<http://www.geo.u-szeged.hu/~bodis/math/szakdolgozat/#2.4.1>
(2009. 08. 04.)
- [38] Szűcs László: Felderítés a levegőből
http://www.honvedelem.hu/cikk/0/15820/hajduhadhaz_pilota_nelkuli_repulogep.html
(2009. 07. 24.)
- [39] Bognár Géza (GDF) – Reé István (GDF): Légifelderítés egyszerű eszközökkel
http://www.hadmernok.hu/robothadviseles6/bognar_rw6.html
(2009. 06. 24.)

- [40] Fehér András: Álláspontom 34TDT4105419743
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2003_cikkek/feher_andras.pdf
(2009. 08. 04.)
- [41] Dr. Szánki László: Térképrendszer váltás a Magyar Honvédségnél
<http://www.otk.hu/cd04/3szek/Szánki%20László.htm> (tárolt változat)
(2009. 08. 03.)

Rövidítések jegyzéke

- **DDM** – *digitális domborzat modell (a terep magassági információt tároló adatbázis)*
- **DTM** – *Digitális Terepmodell (a terep jellemzőit tároló adatbázis)*
- **EMC** – Electro Magnetic Compability – *elektromágneses összeférhetőség*
- **EOTR** – *Egységes Országos Térkép Rendszer*
- **EOV** – *Egységes Országos Vetület*
- **GAB** – *Geodéziai Adatbázis*
- **GPS** – Global Positioning System – *műholdas helymeghatározó rendszer*
- **MGRS** – Military Grid Reference System – *egységes pozíció meghatározó rendszer (katonai koordinátahálózat WGS84 alapfelületen, UTM vetületi rendszerben)*
- **RC** – Remote Control – *UAV-k esetén, közvetlen rádiócsatornán történő irányítás*
- **UAV** – Unmanned Aerial Vehicle – *pilóta nélküli légi jármű*
- **UTM** – Universal Transverse Mercator – *Univerzális Transzverzális Merkátor*
- **LIFO** – Last In First Out – *A legutoljára tárolt adat érhető el először (verem)*
- **FIFO** – First In First Out – *Az első tárolt adat érhető el először (futószalag)*

Ábrák jegyzéke

Ábra száma	Ábra címe	Forrás
1.	Repülőgépmodell irányítási modellje	Készítette: Horváth Zoltán
2.	UAV kézi irányítása	Készítette: Horváth Zoltán
3.	UAV irányítása robotpilóta alkalmazásával	Készítette: Horváth Zoltán
4.	A késéldiffrakció paraméterei	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 35.] és [15. p. 431.] alapján
5.	Késél okozta fading	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 40.] alapján
6.	Késél általános elhelyezkedése a vertikális síkban	Készítette: Horváth Zoltán
7.	A diffrakciós fading meghatározásának adatai	Készítette: Horváth Zoltán
8.	A Bullington modell	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 48.] alapján
9.	Az Epstein-Peterson modell	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 48.] alapján
10.	Az Epstein-Peterson modell folyamatábrája	Készítette: Horváth Zoltán
11.	A Deygout modell	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 51.] alapján
12.	A Deygout modell folyamatábrája	Készítette: Horváth Zoltán
13.	A Japán modell	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 49.] alapján
14.	A virtuális antennamagasság kijelölése	Készítette: Horváth Zoltán
15.	A Japán modell folyamatábrája	Készítette: Horváth Zoltán
16.	Az adott koordinátájú pont magasságának meghatározása	Készítette: Horváth Zoltán [12. p. 55.] alapján
17.	Terepmetszet osztópontjainak kijelölése a DTM felett	Készítette: Horváth Zoltán
18.	Koordináta rendszerek közötti átjárhatóság	Készítette: Horváth Zoltán
19.	Horizontális pásztázás	Készítette: Horváth Zoltán
20.	Ellátottsági- és árnyékdiagram készítése körkörös letapogatással	Készítette: Horváth Zoltán
21.	Hagyományos útvonaltervezés	Készítette: Horváth Zoltán
22.	A repülés irányára merőleges horizontális és vertikális biztonsági távolságtartalék	Készítette: Horváth Zoltán
23.	A repülési útvonal felosztása osztópontokra	Készítette: Horváth Zoltán
24.	Az értékelés szempontjából feldolgozandó magassági adatok	Készítette: Horváth Zoltán
25.	Horizontális távolságtartalék biztosítása	Készítette: Horváth Zoltán

Ábra száma	Ábra címe	Forrás
26.	Vertikális távolságtartalék biztosítása	Készítette: Horváth Zoltán
27.	Süllyedési képesség figyelembe vétele	Készítette: Horváth Zoltán
28.	Emelkedési képesség figyelembe vétele	Készítette: Horváth Zoltán
29.	Minimális megkövetelt repülési magasság figyelembe vétele	Készítette: Horváth Zoltán
30.	Repülési útvonal adatainak posztprocesszálása	Készítette: Horváth Zoltán
31.	A biztonságos repülési útvonal tervezés szempontjai	Készítette: Horváth Zoltán
32.	Útvonalterv képernyőterve (a)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
33.	Útvonalterv képernyőterve (b)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
34.	Útvonalterv képernyőterve (c)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
35.	Centrális vetítés	Készítette: Horváth Zoltán
36.	Ortofoto előállítás	Készítette: Horváth Zoltán
37.	A terepdomborzat torzító hatása kis magasság esetén	Készítette: Horváth Zoltán
38.	Perspektivikus képalkotás	Készítette: Horváth Zoltán
39.	Képalkotó eszköz kalibrálása (horizontális síkon)	Készítette: Horváth Zoltán
40.	Kamerához fűződő koordinátarendszer	Készítette: Horváth Zoltán
41.	Írányvektor számításának referenciarendszere	Készítette: Horváth Zoltán
42.	Terep vertikális síkmetszete	Készítette: Horváth Zoltán
43.	Torzításmentes kép előállítási folyamata	Készítette: Horváth Zoltán
44.	Ortofotó-térkép mozaikszerű előállítása	Készítette: Horváth Zoltán
45.	Információvesztés a leképezés során	Készítette: Horváth Zoltán
46.	A berendezett vizsgálati terület a virtuális síkkal	Készítette: Horváth Zoltán
47.	A fényképezőgép nyílásszögének meghatározásához szükséges fényképek	Készítette: Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához
48.	Különböző helyszínről készített perspektivikus fényképek	Készítette: Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához
49.	A bóják és a kamera elhelyezkedése az alapfelületen	Készítette: Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához
50.	Perspektivikus és ortofoto (a)	Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához, alkalmazásával
51.	Perspektivikus és ortofoto (b)	Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához, alkalmazásával
52.	Perspektivikus és ortofoto (c)	Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához, alkalmazásával

Ábra száma	Ábra címe	Forrás
53.	Három ortofotóból előállított ortofoto térkép	Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásával
54.	Alul-mintavételezett terület az ortofotón	Készítette: Horváth Zoltán
M-1.	M-1. ábra. Az első terepmetszet futtatási eredményei	Horváth Zoltán – [PRG1] alkalmazásával
M-2.	A második terepmetszet futtatási eredményei	Horváth Zoltán – [PRG1] alkalmazásával
M-3.	A harmadik terepmetszet futtatási eredményei	Horváth Zoltán – [PRG1] alkalmazásával
M-4.	Magyarország Digitális Terepmodellje a PKI DTM-200 fedési kódjai alapján	Horváth Zoltán – [PRG1] alkalmazásával
M-5.	A DTM-200 támpontkiosztása	Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján
M-6.	Egy támpont adatainak rekordba szervezése	Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján
M-7.	Magyarország Digitális Domborzat Modellje a DDM-50 alapján.	[30] alapján

Táblázatok jegyzéke

Táblázat száma	Táblázat megnevezése	Forrás:
1.	Útvonal előzetes terve	Készítette: Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásához
2.	Kidolgozott útvonalterv (a)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
3.	Kidolgozott útvonalterv (b)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
4.	Kidolgozott útvonalterv (c)	Horváth Zoltán – [PRG2] alkalmazásával
5.	A virtuális koordinátarendszerben elhelyezett kamera pozíciói	Készítette: Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásához
6.	Koordináták meghatározása a különböző kameraállásból készített digitális fényképek alapján	Horváth Zoltán – [PRG3] alkalmazásával
M-1.	M-1. táblázat: A DTM-200 fedési kódjai	Készítette: Horváth Zoltán [28] alapján

Saját publikációk jegyzéke

- [HZ1.] Ványa L. – Horváth Z.: Többfunkciós oktatástechnikai rendszer kialakítása a korszerűbb elektronikai hadviselési tisztképzésért. (Bolyai Szemle 1998. VII. évf. 2. szám p98. – 102. Budapest, 1998. ISSN 1416 1443 (társszerző 1/2);
- [HZ2.] A térinformatika katonai alkalmazása a digitális harcmezőn (Robothadviselés Nemzetközi Konferencia, ZMNE, Budapest, 2001. november, előadás és konferencia kiadvány);
- [HZ3.] A digitális domborzat modell alkalmazása az URH és mikrohullámú rádióösszeköttetés tervezése során I. rész (Bolyai Szemle, ZMNE, Budapest, 2002. XI./1. szám);
- [HZ4.] A Digitális Domborzat Modellek alkalmazása az elektronikai-harc szakos hallgatók szakképzésében (XII. Térinformatika az oktatásban Szimpózium, Budapest, 2003. október, előadás és konferencia kiadvány);
- [HZ5.] Pilóta nélküli repülőgépek útvonaltervezése digitális domborzat modell alkalmazásával (Gazdaságosság, Hatékonyság és Biztonság a repülésben Tudományos Konferencia, ZMNE RMI, Szolnok, 2004. április, előadás és konferencia kiadvány);
- [HZ6.] Objektumok koordinátáinak gyors meghatározása perspektivikus légifényképek alapján, digitális domborzat modell alkalmazásával („Kard és Toll” Doktorandusz Konferencia ZMNE, Budapest, 2004. május, előadás és konferencia kiadvány);
- [HZ7.] Raszteres állományú digitális terepmodell attribútum-adatok gyűjtésének támogatása, kisméretű pilótanélküli repülőeszközök által készített perspektivikus légifényképek posztprocesszálása útján (Robothadviselés 4 Nemzetközi Konferencia, ZMNE, Budapest, 2004. november, előadás és konferencia kiadvány);
- [HZ8.] A kis- és közepes méretű pilóta nélküli repülő eszközök, valamint a földi irányítópont közötti kommunikáció hatékonyságának növelési lehetősége, szabályos raszteres állományú Digitális Domborzat Modell alkalmazásával (Kommunikáció 2005 Nemzetközi Szakmai Tudományos Konferencia, ZMNE, Budapest, 2005. október, előadás és konferencia kiadvány);

- [HZ9.] Kis- és közepes méretű pilóta nélküli repülő eszközök autonóm feladatvégrehajtásának támogatása Digitális Domborzat Modell alkalmazásával (Robothadviselés 5 Nemzetközi Konferencia, ZMNE, Budapest, 2005. november, előadás és konferencia kiadvány ZMNE, Bolyai Szemle 2006. XV./1, Budapest);
- [HZ10.] Reconstructing of a given pixel's three-dimensional coordinates given by a perspective digital aerial photos by applying digital terrain model (kiadás alatt, várható megjelenés 2009. szeptember. Hadmérnök, Budapest, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Kar és Katonai Műszaki Doktori Iskola on-line tudományos lapja);
- [HZ11.] A terepdomborzat hatása a kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgép kommunikációs csatornájának stabilitására (kiadás alatt, várható megjelenés 2009. szeptember. Hadmérnök, Budapest, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Kar és Katonai Műszaki Doktori Iskola on-line tudományos lapja);
- [HZ12.] A kis- és közepes magasságon feladatot végrehajtó pilóta nélküli repülőgép repülési útvonal tervezése Digitális Domborzat Modell (DDM) alkalmazásával (kiadás alatt, várható megjelenés 2009. december. Hadmérnök, Budapest, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Kar és Katonai Műszaki Doktori Iskola on-line tudományos lapja).