

A térinformatika alkalmazása a PMR eszközök rádiófelderítésében

Balog Károly¹

Absztrakt:

Napjainkban az engedélyhez kötött és engedély nélkül is üzemeltethető PMR rádiótechnológia a mobiltelefonoknál már megtapasztalt paradigmaváltáson megy keresztül. Újfajta digitális PMR rendszerek és egyedi készülékek kezdenek elterjedni a gyakorlatban. Mivel ezek az eszközök a hagyományos távközlési infrastruktúrákat kikerülhetik, felderítésük, ellenőrzésük kizárólag a rádiófelderítés eszközrendszerével történhet. Cikkemben áttekintem a térinformatika elméleti alapjait, valamint szerepét jelentőségét a polgári rádiófelderítésben. Megvizsgálom az általános rádiófelderítéshez és ezen belül a PMR eszközök rádiófelderítéséhez is kapcsolódó tevékenységek térinformatikai támogatásának lehetőségeit, valamint a felderítés végrehajtását meghatározó tényezőket. Ezen belül összefoglalom az összeköttetések tervezésének eszköztárát és a PMR rendszerek frekvenciára jellemző terjedési sajátosságokat, valamint az ezekből építkező terjedési modelleket. Ezek képezik az alapját a terjedést becslő programoknak, melyek a települési hely optimalizálását segítik elő a gyakorlatban.

Kulcsszavak: PMR, digitális PMR rendszerek, telekommunikáció

Abstract:

In these days, both the licensed and license-free PMR radio technology is going through massive paradigm shift as formerly seen at mobile phone technologies. In fact, the new digital PMR systems and individual devices are spreading in practice. Since these devices completely bypass the traditional telecommunications infrastructure, their detection and control is only possible by Signal intelligence. In my paper I review the theoretical foundations of GIS, as well as the importance of the role of civil communication intelligence. Explore the possibilities of GIS to support activities related to general communications intelligence, including detection of PMR devices, as well as the factors which determining the implementation of the reconnaissance. I summarize within the tools of RF links design features and the PMR systems frequencies propagation characteristics, as well as the propagation models from these roots. These form the basis of RF propagation prediction programs which promote the optimization of installation sites for monitoring sensors in practice.

Keyword: PMR, digital PMR systems, telecommunication

¹ *Nemzeti Közszolgálati Egyetem, harmadéves doktorandusz, bkarika07@gmail.com*

1. Bevezetés

Kutatási témám középpontjában rádióelektronikai felderítésen belül elsősorban a nemzetbiztonsági rádiófelderítés áll, ezen belül is főleg az engedély nélkül használható, vagy illegálisan alkalmazott eszközök felderítési kérdéseivel foglalkozom. Ezek az eszközök nagyrészt kisebb teljesítményűek, de vannak közöttük néhány watt kimenő teljesítményt elérő eszközök is. A katonai rádiókhoz képest ez jelentősen kisebb hatótávolságot és egyben felderítési távolságot jelent, pl. a harcászati eszközökhöz képest. Ezen felül az alkalmazás körülményeiben is jelentősen eltérhetnek a katonai eszközöktől. Összességében kijelenthető, hogy a katonai és a nemzetbiztonsági rádiófelderítés célterületei nagyrészt különböznek egymástól, azonban napjaink aszimmetrikus hadviselésében lehetnek átfedések a célterületek között, főleg a polgári rendszerek, eszközök vonatkozásában. Az manapság már nem kérdés, hogy mind a katonai mind a polgári nemzetbiztonsági rádiófelderítés feladatainak maradéktalan végrehajtásához szükség van a különféle térinformatikai (GIS²) programokra, és rendszerekre. A kérdés inkább úgy merül fel, hogy melyik rendszer és program rendelkezik egyedi többletképességekkel, technikai újdonságokkal, ezeket milyen anyagi ráfordítással érdemes megvásárolni, szem előtt tartva a már meglévő eszközökkel és rendszerekkel való kompatibilitás kérdését is. A rádiófelderítés új célterületei között szerepelnek az engedélyhez kötött és engedély nélkül is használható PMR eszközök újfajta digitális változatai is. Ezekkel kapcsolatban kérdésként merül fel az is, hogy ezek mennyiben igényelnek más megközelítést az analóg rendszerekhez képest, pl. a GIS eszközrendszerében a felderítés tervezése, technikai kivitelezése vonatkozásában. Jelen cikkben a kutatási témámhoz kapcsolódva ennek a kérdéskörnek az elméleti apparátusát vizsgálom meg, illetve áttekintem a témában relevánsnak számító elméleteket, tudományos megfontolásokat. Egy tervezett második cikkben pedig konkrét programmal végzett szimulációk segítségével vizsgálom a környezet hatását az általam kutatott eszközök felderítési lehetőségére.

2. A térinformatika fogalma és jelentősége a polgári rádiófelderítésben

A rádiófelderítés az elektronikai hadviselésen (EW³) belüli elektronikai támogató tevékenységhez (ESM⁴) igen hasonló tevékenységet jelent. Ettől csak a felhasználás céljában tér el, így a tevékenységére vonatkozó megállapítások, előzetes ter-

² GIS – *Geographic Information System*, azaz földrajzi információs rendszer, vagy térinformatika, de újabban a *Geospatial Information System* azaz geoinformatika kifejezés az elterjedtebb

³ EW: *Electronic Warfare - Elektronikai Hadviselés*

⁴ ESM: *Electronic Support Measures – Elektronikai támogató tevékenység*

vezési folyamatok tekintetében is jelentős hasonlóságok fedezhetőek fel. Körülményeit és tevékenységének terét, dimenzióját tekintve pedig szinte teljes a hasonlóság.

"Figyelembe véve azt a tényt, hogy az elektronikai helyzet, és az ehhez kapcsolódó felderítési folyamatok folyamatosan változnak és mindez térben és időben történik, (a különböző tevékenységek és események mindig kapcsolódnak egy előző állapothoz és eseményhez), így e folyamatoknak a terephez kapcsolódó kiértékelése, a rádiófelderítésre gyakorolt hatásának figyelembe vétele nélkül hatékony rádiófelderítő tevékenység végrehajtása lehetetlen."⁵ A térbeli és időbeli változások modellezésére alkalmas a térinformatika, ahol a térbeli adatok digitális térképen a mesterséges és természetes objektumok földrajzi információit tartalmazzák (grafikus adatbázis), melyekhez alfanumerikus adatok vagy leíró adatok tartoznak, amelyek az objektumok jellemzőiről adnak információkat.⁶

A digitális térképeknek számos fajtája létezik, amelyek a digitális domborzati modellel, de akár részletes épület adatokkal is kiegészítve, alapját képezhetik a rádiófelderítéshez kapcsolódó 3D-s GIS tevékenységeknek, a tervezéseknek, számításoknak, és ábrázolásoknak. A tevékenység tervezése, előkészítése, vezetése, értékelése, történhet távolról (műveleti központ), de a művelet helyszínén is lehetséges. Mindkét esetben az egységes viszonyítási rendszert a térkép adja. Ezen egyrészt a saját és felderített eszközök (stabil-mobil rádiók, antennái, iránymérő antennái) települési helyeit, útvonalát, (grafikus műveleti adatok), másrészt a saját eszközök ismert (technikai adatait) valamint a felderített és számunkra érdekes célobjektumok kisugárzásainak adatait (alfanumerikus műveleti leíró adatok) lehet ábrázolni.

Az elvégezhető tevékenységek körét két részre bontanám, az előkészítés tervezés, és a végrehajtás fázisára. Ez a megvalósítandó feladatban így az erre alkalmazott GIS programok körében is alapvető különbséget jelent. A feladat tervezésére különféle polgári életben is alkalmazott rádiófrekvenciás terjedés becslő⁷ programokat használhatunk. A végrehajtás során azonban napjainkra a jellemző gyakorlat, hogy az egyes komplex felderítő rendszerek saját speciális GIS alkalmazásokkal rendelkeznek, mivel csak ezen keresztül használható ki a rendszer teljes funkcionalitása. Természetesen általában ezek is csak ritkán saját fejlesztések, általában valamelyik ismertebb kereskedelmi GIS szoftver speciális célú változatai. Ilyen ismertebb szoftverek: az ESRI ArcGIS, a MapInfo, az AutoCAD Map 3D, de nyílt forrású programok is elterjedtek: pl. SAGA-GIS, GRASS GIS, vagy a QGIS nevű programok, hogy csak az ismertebbeket említsem.

⁵ HAIG Zsolt: *Az elektronikai felderítés tervezése, térinformatikai eszközön. Hadtudományi Tájékoztató, 1996, 2. sz., Budapest, 79-88p*

⁶ HAIG Imf.

⁷ *RF Propagation Prediction – rádiófrekvenciás terjedés becslő*

Ezek térkép formátuma azonban általában tetszőlegesen megválasztható a saját már meglévő rendszerekkel való kompatibilitása okán, így eltérő formájú és vetületű digitális térképek egyaránt alkalmazhatóak. Ez azért lényeges, mert a szakemberek szerint a GIS rendszerek legnagyobb költségét, maguk a térkép adatok jelentik, melyek a rendszer 70-90 %-át is jelenthetik az árat tekintve⁸. Így a felderítő rendszerek speciális GIS programjai közül már nem egy, az általánosan nyílt térképadatbázisok alkalmazását részesíti előnyben, melyekből igen sokféle terjedt el a gyakorlatban. Pl. Google térkép és műholdas adatok (ezek speciális GIS programjai: Google Earth, Google Earth Pro), vagy a szintén igen népszerűnek számító OpenStreetMap (OSM). Mindkét megoldást nevezhetnénk akár felhőalapú grafikus adatbázisoknak is. Ezek off-line használata is elterjedt, amikor is a teljes térképadatbázisból, csak a számunkra adott feladat végrehajtásához szükséges területek adott méretarányú térképszelvényeit töltjük le előzetesen, így nincs szükség folyamatos adatkapcsolatra a terepen.

Mind a grafikus, mind az alfanumerikus adatok (együttesen: műveleti adatok) szükség esetén általában exportálhatóak a speciális GIS rendszerekből, illetve importálhatók is oda. Bár a kereskedelmi GIS alkalmazások általában saját egyedi csereformátumokkal rendelkeznek, többnyire a nyílt forrású csereálmányokat is támogatják. Ilyen például a KML⁹ leíróformátum, amit pl. a Google Earth de számos más GIS program is felismer és kezel, mivel a KML formátumot nyílt GIS szabványként fogadta el az OGC¹⁰. Természetesen a KML mellett egyéb más szabványos csereformátumok is léteznek, pl. az OGC által megalkotott GML¹¹ formátum. A GML szintén xml alapú nyílt csereformátum az internet alapú GIS rendszerek közötti információ megosztásra.

A védelmi és felderítő rendszereket gyártó cégek fontos szerepet töltenek be az OGC szabványok kidolgozásában elfogadásában és használatában egyaránt. Ez biztosíthatja a gyakran nem kis fejlesztési költségű megoldások minél szélesebb spektrumú – nem csak védelmi és hírszerzési, hanem akár üzleti célú – alkalmazási lehetőségét, így a jobb megtérülést, valamint az egyes országokon belüli és helyi ügynökségek rendszerei, de akár a koalíciós partnerek közötti együttműkö-

⁸ Dr. Siki Zoltán: *Bevezetés a térinformatikába, ppt bemutató*

<http://slideplayer.hu/slide/2124812/#> (2014. 12. 15.)

⁹ KML: *Keyhole Markup Language, a Google xml alapú nyílt szabványú leíróformátum, térben ábrázolt alakzatok megjelenítésére, és ezek GIS rendszerek közötti megosztására*
[https://support.google.com/earth/answer/148118_\(2014. 12. 15.\)](https://support.google.com/earth/answer/148118_(2014. 12. 15.))

¹⁰ OGC: *Open Geospatial Consortium – Nyílt geoinformációs Konzorcium*
Az OGC honlapjának KML formátummal kapcsolatos információi
[http://www.opengeospatial.org/standards/kml/_\(2014. 12. 15.\)](http://www.opengeospatial.org/standards/kml/_(2014. 12. 15.))

¹¹ GML: *Geographic Markup Language – A KML-hez hasonló NATO által is használt leíróformátum*

dést is¹². Ilyen speciális védelmi vagy felderítési műveleti célú GIS rendszerek többféle formában és léptékben rendelkezésre állnak, melyek technológiai evolúcióját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A GIS műveleti alkalmazásának léptékei¹³

Természetesen a fejlettebb rendszerek hálózatos alapú működéssel rendelkeznek: Így a több felhasználós (multiuser), a hálózatos (network based) valamint szolgáltatás orientált rendszerek esetében a nyílt formátumok azért is lényegesek, mert ezeknél csak a műveleti adatokat kell továbbítani szabványos csereállomány formátumban, amik ezután akár eltérő GIS rendszerekben, eltérő formátumú térképeken is ábrázolhatóak. De másik példa lehet a többfelhasználós vagy hálózati alapú rendszerekből az egy időben, de akár eltérő eszközökkel készült helyzetképek (műveleti adatok, pl. iránymérési eredmények) feldolgozása egy központi supervisor állomáson.

¹² OGC standards for Defense and Intelligence

http://www.opengeospatial.org/domain/defense_and_intel (2014. 12. 13.)

¹³ JOHN DAY (ESRI India), GIS as a Platform For Special Forces, Geo Intelligence India (Geospatial-Force Multiplier for Modern Warfare) New Delhi, India, 2013. 06. 13-14.

<http://www.slideshare.net/EsriIndia/gis-as-a-platform-for-special-forces> (2014. 12. 05.)

3. A rádiófelderítés végrehajtásához kapcsolódó tevékenységek GIS támogatása

Az általam vizsgált hagyományos analóg és az új típusú digitális PMR eszközök és rendszerek rádiófelderítése során a következőkre van szükség. Frekvenciájuk, üzemmódjuk, adásmódjuk, egyedi azonosítók, hovatartozásuk meghatározása, a kommunikáció tartalmának visszanyerése, célirányos valósidejű (adott esetben off-line) ellenőrzésének biztosítása, valamint a hozzátartozó meta-adatokkal együttes rögzítése lehet a cél.¹⁴ A GIS tevékenységének támogatása kapcsán pedig ezeken felül: kisugárzási irányuk, álló célok esetén települési helyük, mozgó célok esetén pillanatnyi tartózkodási helyük esetleges mozgási útvonaluk meghatározása is lehetséges célként merül fel, az alkalmazott technikai eszközök képességeitől függően. Ennek hatékony kivitelezéséhez többféle előzetes tevékenységre is szükség van, melyek megvalósításához sok helyen kapcsolódik a térinformatika. A következőkben felsorolt részletezett tevékenységeknek, azaz a feladat által meghatározott igényeknek megfelelő térinformatikai rendszer(eket) kell alkalmazni:¹⁵

- Az előzetes tervezéshez kapcsolódóan, a felderítés, lehallgatás, iránymérés optimális települési hely(einek) kiválasztása, elsősorban a fizikai realitások lehetőségeink, de nem utolsósorban a terjedési körülmények, a környezet hatásának, valamint a saját eszközök képességeinek (antennanyereség, vevőérzékenység, digitális rádióknál a BER¹⁶) figyelembevételével történik.
- Ennek érdekében terület-lefedettség, láthatósági vizsgálatok, és felderítési távolságok meghatározásának elvégzésére van szükség, melyek különféle matematikai modellek számítógépes implementációinak segítségével vitelezhetők ki. A feladatra rendelkezésre állnak különféle desktop programok, de akár már mobil applikációk is, ingyenes és fizetős változatokban egyaránt. Ezek eredményeit próbamérésekkel, esetleg többféle program egyidejű alkalmazásával is lehet ellenőrizni.
- Az ideális települési hely(ek) kiválasztása után megállapítható a lefedettség, azaz a felderítés szempontjából hatásosan lefedett zónák, területek iránya és távolsága. Ennek ismerete kulcsfontosságú az adott feladat végrehajtásának eredményessége szempontjából.
- A felderített adókhoz tartozó technikai műveleti adatok, iránymérési eredmények és ezek alapján a helyzet információk ábrázolása, valamint

¹⁴ BALOG Károly: *Digitális PMR rendszerek összehasonlítása I., Hadmérnök, IX. évf. 3. szám. 2014. szeptember*

http://www.hadmernok.hu/143_08_balogk.pdf (2014. 09. 30)

¹⁵ HAIG Zsolt: *Az elektronikai harc térinformatikai adatbázisa. Hadtudomány 1996, 4. sz., Budapest, 75-83p. ISSN 1215-4121*

¹⁶ BER: Bit Error Rate – Bit hibaaarány

mozgó célok esetében a becsült útvonal számítása (predikciója)¹⁷ is feladat lehet.

- Az iránymérési eredmények átlagolása és ábrázolása több mérésből (városi környezetben a többutas terjedés miatt igen fontos lehet), ezek az ún. emitter mapper alkalmazások.
- A cél függvényében a felderített adó fizikai nyomon követése és megtalálása az ún. homing feladat végrehajtása, mind álló mind mozgó célok esetében felmerülhet¹⁸.

4. A PMR eszközök felderítésének végrehajtását meghatározó tényezők

A cikk további részében a fentebb felsorolt feladatok közül, a települési hely kiválasztására rendelkezésre álló GIS eszköztárat és lehetőségeket tekintem át. Ezek a polgári életben különféle összeköttetések és rádióhálózatok tervezésére alkalmazott szoftverek, a felderítésre is adaptálhatóak, de vannak kifejezetten felderítési feladatok tervezésére készült programok is ¹⁹, melyek alkalmazása mind a helyhez kötött, mind a mobil vagy hordozható eszközök esetében szükséges és indokolt.

A szakirodalom a rádió-monitoring eszközök kivitele, elhelyezkedése (települési helye) és mobilitása szempontjából különféle típusokat különböztet meg²⁰, melyek a következők: 1. Stacioner eszközök (épületben fixen telepítve), 2. Mobil eszközök (földi, légi vízi, űr hordozóeszközökre telepített), 3. Hordozható eszközök (amelyek egy adott ideiglenes helyszínen a telepítés után használhatóak), 4. Kézi eszközök (nyílt vagy rejtett kivitelben, az operátor szabad mozgása közbeni alkalmazásra). Az egyes kivitelek esetében más-más típusú, képességű és méretű vevőket, felderítő és iránymérő antennákat tudunk alkalmazni, illetve az elhelyezkedésből adódó lehetőségek okán a felderítési zóna, jelentős eltéréseket mutathat az egyes esetekben.

Ezen felül a felderítő rendszerek esetén is szükség lehet a kommunikációs összeköttetések tervezésére, mivel napjainkban igen elterjedtek a távvezérelhető eszközök, melyek vezetékes vagy vezeték nélküli átviteli úton továbbítják adataikat a feldolgozás és értékelés helyére.

¹⁷ *GIS in the Defense and Intelligence Communities, Volume 2. ESRI*

<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-in-defense-vol2.pdf> (2014. 12. 17.)

¹⁸ *Anatoly REMBOVSKY, Alexander ASHIKHMIN, Vladimir KOZMIN, Sergey SMOLSKIY: Radio Monitoring, Problems, Methods, and Equipment, Springer 2009*

¹⁹ *R&S PCT Propagation Calculation Tool – Site planning for radiomonitoring systems*

http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/PCT_bro_en_3606-7118-12_v0201.pdf (2014. 12. 18.)

²⁰ *REMBOVSKY et al 2009*

A rádióösszeköttetés (felderítés) tervezésének eszköztára

Az optimális települési hely kiválasztását tulajdonképpen nevezhetjük egy olyan mérnöki feladatnak is, melynek célja a kiválasztott stabil vagy mobil vételi helyről, az adott rádiós környezet (vagy speciális rádiós céleszköz, célrendszer) jeleinek, a körülményekhez képest legjobb vételi lehetőségének biztosítása. Ez olyan mintha összeköttetést terveznénk egy adott területre, vagy zónába, azzal a különbséggel, hogy csak egyirányú kapcsolatról van szó (passzív módon csak vesszünk az eszközeinkkel). A kapcsolat relációjában pedig csak az egyik oldalon lévő kommunikációs eszköz a biztos, azaz a felderítő vevő(rendszer). Ezzel szemben a venni kívánt eszköztől csak feltételezésünk van, ezért adott eszközre, vagy eszközcsoportra lehet tervezni.

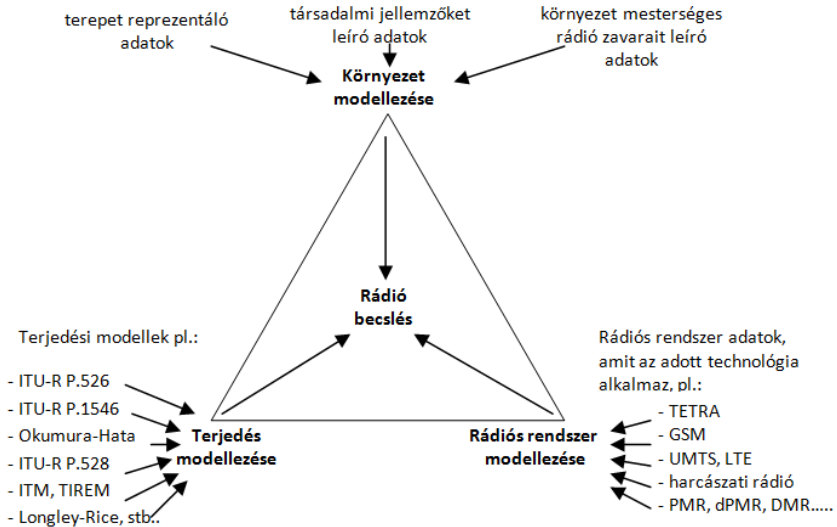
A települési helyek tekintetében azonban van még egy figyelembe veendő igen fontos szempont, a műveleti szempontok csoportja, amelyek gyakran felülírják a legoptimálisabb terjedésnek megfelelő vételi pontok alkalmazását. Így a gyakorlatban általában a rendelkezésre álló műszaki és műveleti adatok együttesen határozzák meg a kiválasztott vételi helyeket, a rendelkezésre álló lehetőségek közül. Műveleti körülmények között a mobil és a hordozható eszközök nyújtják a legflexibilisebb megoldást az optimális települési hely műszaki szempontú kiválasztását is szem előtt tartva. A műveleti szempontok vizsgálatával nem foglalkozom, ezért csak a műszaki szempontok szerinti optimális vételi hely meghatározásának szempontrendszerét tekintem át.

Az összeköttetések tervezésére a gyakorlatban többféle módszer alakult ki, azonban a szoftver, vagy GIS alapú modern tervezési eljárások esetében, a kiinduló adatok tekintetében ezek között nincs különbség. Így a 2. ábrán látható információkra és adatokra van szükség általánosságban egy rádióösszeköttetés tervezéséhez (becsléséhez)²¹.

Az adatok három fő csoportba sorolhatóak: A környezetet modellező adathalmazra, a rádióhullámok terjedését modellező elméleti megközelítésekre és ezek számítógépes implementációira azaz a terjedési modellekre, valamint a tervezett rádiós rendszer – jelen esetben az analóg és digitális PMR-ek – technológiai, technikai és rendszerjellemző adataira azaz a vizsgált rendszer rádiós modelljére. Vizsgáljuk meg ezeket egyenként.

²¹ *Adrian GRAHAM, Nicholas C. KIRKMAN, Peter M. PAUL: Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands: A Practical Approach, John Wiley & Sons Ltd. 2007.*

A térinformatika alkalmazása a PMR eszközök rádiófelderítésében



2.ábra: A rádió-összeköttetés tervezéséhez szükséges adatok²²

A környezet modellezése

A tervezés alapvetően a rádióhullámok terjedésének becslésére szolgál adott környezetben, adott rádiótechnológia alkalmazása esetére. Ehhez a környezeti hatások ismerete azért szükséges, mert ezek egyértelműen befolyásolják egy adott helyszínen és környezetében a rádióhullámok terjedését, valamint a területre legjobban alkalmazható (legpontosabb eredményt adó) terjedési modellt is meghatározzák.

A 2. ábrán látható környezetet leíró adathalmazból a terepet reprezentáló adatok (Data to represent terrain) a legfontosabbak a számunkra. Ezek az adott geológiai valamilyen léptékrendszer és felbontás melletti földrajzi magasság adatait tartalmazzák például digitális domborzatmodell formájában. A domborzati modellek többféle felbontásban és relációban rendelkezésre állhatnak egy területről, pl. Magyarországon (DDM50 vagy DDM10)²³, valamint a legmodernebb Hundem-5²⁴ adatbázis, illetve kvázi globális lefedettséggel pl. a

²² GRAHAM et al 2007

²³ DDM 50, illetve DDM 10: Digitális Domborzati Modellek, 50x50 (100 MByte) ill. 10x10 (2,5 GB) méteres felbontással, 0,8-5 m pontossággal (HM Térképészeti Hivatal)

²⁴ Hundem-5: 5x5 méteres nagyfelbontású, légi fényképezés (digitális ortofotók) alapján készült, 0,7-1,5 m pontosságú, 15,4 GB méretű digitális domborzatmodell. (Földmérési és Távérzékelési Intézet)

NASA által űreszközökről készített DEM²⁵ adatbázisok²⁶. A terep domborzati adatai alapvetően befolyásolják az adó és a vevő közötti láthatóságot²⁷ (terjedést) a terep egyes pontjainak magassága miatt. Manapság már olyan kifinomult eljárások is rendelkezésre állnak egy ismeretlen terület pontosabb DDM vagy DEM adatbázisának létrehozására, mint a repülőgép fedélzeti LIDAR²⁸ távérzékelők. Ezek akár 50 milliméteres mérési pontosságra is képesek alacsony repülési magasság esetén, egy útvonalon 3-4 km szélességben feltérképezve egy területet. A LIDAR képes továbbá a domborzat magassága mellett, a terepet fedő anyagok jellemzőinek detektálására is²⁹.

A környezet mesterséges, rádiózavarokat okozó adatai szintén eléggé relevánsak, főleg ha behatárolt földrajzi területen a várható műveleti alkalmazás zónájában kell települési helyet választani. Ezek az adatok pl. a mesterséges terepakadályok, fasorok, épületek, a forgalom (gyalogosok, autók közlekedése), stb. amelyek méretük, fizikai paramétereik, mozgásuk okán befolyásolják a rádióhullámok terjedését. Ezeket digitális felületmodell (DFM) formájában szokták megadni. Bizonyos terjedési modellek megeleghszenek a domborzati modellek adataival, főleg külvárosi vagy nyílt terepen, azonban a városi sűrűn beépített területek esetén sokkal pontosabb eredményt kapunk az épületek és egyéb mesterséges terepakadályok egzakt figyelembevételével. A LIDAR rendszer elvén működő, lézerszkenner geodéziai műszereket egyre szélesebb körben alkalmazzák az ipari geodéziai és épület-felmérési munkáknál³⁰. Ezek eredményének leírására kezdetben egyedi megoldásokat alkalmaztak, majd a gyakorlatban egyre inkább kvázi szabvánnyá vált a vektoros digitális 3D (épület) modellek GIS alapú csereformátuma, az ún. COLLADA formátum³¹, ami szintén egy xml alapú séma. A

²⁵ DEM: Digital Elevation Modell - 90 ill. 30 méteres területi felbontással (a 30 m csak USA és Európa esetén) a NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) keretében készült

²⁶ A Cloud RF terjedésbecslő program által is alkalmazott DEM: Digital Elevation Modell leírása <http://cloudrf.com/pages/terrain> (2014. 12. 19.)

²⁷ LOS: Line Of Site – közvetlen láthatóság, vagy NLOS (Non LOS) nem közvetlen láthatóság esetének meghatározása, a terjedési modell megállapításához. A terjedés szempontjából a LOS az ideális, de pl. városi körülmények között szinte sohasem áll fenn a lehetősége.

²⁸ Lidar: Light Detection and Ranging – fény érzékelés és távmérés elvén működő képalakítási eljárás

²⁹ Koós Tamás: A harcvezetési rendszerekben alkalmazható digitális magasságmodellek és azok jellemzői, Hadmérnök, III. évf. 4. szám, 2008. december http://hadmernok.hu/archivum/2008/4/2008_4_koos.pdf (2014. 12. 19.)

³⁰ Koós 2008

³¹ MEZEI László: Háromdimenziós városmodellek generálása, szakdolgozat /ELTE IK PSZT/, 2011, Budapest

Collada fájlokat általában KMZ formátumba szokták csomagolni, ami egy zip tömörített KML fájl, amit a Google és egyéb GIS valamint 3D tervező program szintén felismer és kezel.

A terület társadalmi jellemzői (Data represent social features): pl. népességi adatok, a napszakokhoz köthetően a területen előforduló emberek száma, stb. forgalomelméletileg szükségesek, de a felderítést nem befolyásolják, legalábbis az általam vizsgált rendszerek esetében nem jellemzően.

A rádióhullámok terjedési mechanizmusa PMR eszközök esetében

A következőkben a rádióhullámok terjedésének PMR eszközök szempontjából lényeges sajátosságait tekintem át, amik természetesen nem csak az általam vizsgált rendszerekre érvényesek, hanem az összes ebben a tartományban működő eszközre, rendszerre alkalmazhatók. A terjedés alapvetően befolyásolja a rádiófelderítés végrehajtását.

Az általam vizsgált rendszerek frekvenciatartománya a VHF és UHF tartományban található jellemzően, a 160 és a 450 MHz-es tartományokban. A rádióhullámok olyan elektromágneses rezgések, melyek szabad térben egyenes vonalban terjednek, azonban ezekre a tartományokra a következő terjedési sajátosságok jellemzőek, melyek az egyenes vonalú terjedést módosítják. 100 MHz-főltt 3 m-nél kisebb hullámhosszok adódnak, (500 MHz-en már csak 0,6 m) ami jóval kisebb a terepen található természetes és mesterséges akadályok többségénél, ezért a terjedést jelentősen módosíthatják. Így a következő hatások figyelhetők meg: az alap szabadtéri vagy *közvetlen terjedés* (LOS³² összeköttetés) távolsággal és frekvenciával növekvő *csillapítása*, *visszaverődés* (reflexió) lapos felületekről, *szóródás* (scattering) az egyenetlen felületeken, *elhajlás* (diffrakció) különálló objektumokon, RF energia *elnyelődése* (absorption) objektumokon, melyet főleg épületeken belüli terjedéséknél vesznek figyelembe.

Ezek összefoglalása azért is lényeges, mert az erre a tartományra jellemző terjedési modellek, ezek hatásait veszik figyelembe valamilyen formában és mértékben. Ahogy korábban a terep hatásánál már írtam, a terep magassági (terrain) és beépítettségi, környezeti tulajdonságaitól (radio clutter) függenek legnagyobb mértékben. A terjedési modelleknek alapvetően két típusa létezik, az egyik a pont-pont modellek a másik pedig a pont-terület modellek kategóriája. A pont-pont modellek a tényleges fizikai környezetet matematikai megközelítésével veszik figyelembe a számításnál, míg pont-terület modelleknél méréseken alapuló tapasztalati adatbázisokat alkalmaznak a vett jelerősség meghatározására, pl. a Hata modelleknél.

http://people.inf.elte.hu/fekete/tamop_2010/Szakedolgozat_diploma/Mezei_L_szakedolgozat.pdf (2014. 12. 19.)

³² LOS: Line of Sight – közvetlen láthatóságú összeköttetés

A következőkben egyenként megvizsgálom a fent említett terjedési módokat illetve azt, hogy ezek hogyan, milyen hatásmechanizmussal módosítják a rádióhullámok terjedését, azaz a felderítés során vett jel nagyságát és minőségét.

Közvetlen terjedés csillapítása:

$$L = 32.44 + 20 \log f + 20 \log d \quad (1)$$

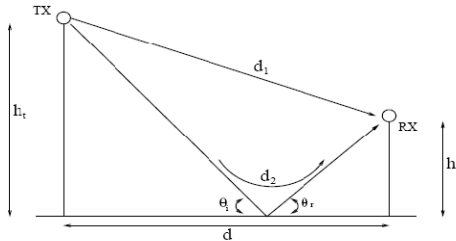
ahol: L: a LOS összeköttetés csillapítása [dB]
f: az összeköttetés frekvenciája [MHz]
d: az összeköttetés távolsága [km]

amely izotróp antennára³³ adja meg ennek értékét, mely ideális esetben csak a világűrben, vagy magas irányított antennák LOS összeköttetése során valósul meg (Fresnel zóna szabad). A gyakorlatban hozzávetőleges számításoknál használt, vagy kiindulásnak a terjedési modellek megalkotásához.

Visszaverődés (reflexio):

A rádióhullámok a lapos felület(ek)ről visszaverődnek, ha a hullámhosszuk összemérhető a felület laposságával. A felületeken egy részük elnyelődik, a maradék energia reflektálódik, de megváltoztatja a jel fázisát. Az eredeti és a reflektált jelek a vételi helyen (antennán) vektorosan összegződnek, ezért a beérkező jelek pillanatnyi fázishelyzetétől (megtett úttól) függően a jel fluktuációját (a jelek erősíthetik, vagy gyengíthetik egymást, egyező vagy ellentétes fázis esetén) okozzák, főleg ha ehhez esetünkben az adó, a vevő, vagy mindkettő mozgása is társul. A lapos felületek városban lehetnek épületek homlokzatai, járdák, utak, ahol akár többszörös – nem csak horizontális, de vertikális irányú – visszaverődések is kialakulhatnak, amelyeket az egyes programok 2-10 szerez visszaverődésig vesznek figyelembe. Speciális esete a *kétutas terjedés*, amely főleg a nyílt kis magassági különbségekkel rendelkező sík területek legfőbb elektromágneses hullámterjedési módja. A 3. sz. ábra mutatja az elvi felépítését. Mivel esetünkben az adóantenna általában fix magasságú, a vevő antenna magassága pedig tőlünk függ, így ennek változtatásával a fázishelyzetet befolyásolni tudjuk. A vevőantenna optimális magassága meghatározható adott frekvenciára, tehát ebben az esetben nem mindig a legmagasabbra helyezett antenna az optimális választás. A szabadtéri terjedésből és a visszaverődés matematikai leírásából tulajdonképpen egy egyszerű, de a fenti körülmények között jól alkalmazható terjedési modellt kapunk. Ez egy pont-pont modell, amelyik a tényleges fizikai környezet matematikai megközelítésével veszi figyelembe.

³³ A tér minden irányába egyformán sugárzó elméleti antenna



$$PL(dB) = 40 \log_{10}(d) - (10 \log_{10}(G_t) + 10 \log_{10}(G_r) + 20 \log_{10}(h_t) + 20 \log_{10}(h_r))$$

3.ábra: A kétutas terjedés leírása³⁴

- Ahol:
- PL: az összeköttetés csillapítása [dB]
 - d: az adó és vevőantenna vízszintes távolsága [m]
 - d₁: az adó és vevőantenna légvonalbeli távolsága [m]
 - d₂: az adó és vevőantenna reflektált jelútjának távolsága [m]
 - G_t: az adóantenna nyeresége [dB]
 - G_r: a vevőantenna nyeresége [dB]
 - h_t: az adóantenna magassága [m]
 - h_r: a vevőantenna magassága [m]

Szóródás:

A szóródás jelensége mechanizmusát tekintve hasonló a visszaverődéshez, azonban itt a felület nem sima, ezért a visszavert hullám nem lesz koherens. Ennek hatására a vevőpozíció kismértékű változására is nagyléptékű jelváltozás keletkezhet. Ennek egzakt matematikai modellezése jóval bonyolultabb, mint a visszaverődésé. Olyan mintha sok eltérő irányú visszaverődés keletkezne, de jóval kisebb energiával mint közvetlen reflexiónál. Ennek vektoros összegződése okozza, az ún. gyors féding jelenségét (Small Scale fading). A féding mértéke függ az adó ill. a vevő mozgásától is, de ebben az esetben ezen felül a terjedési környezetben lévő megfelelő méretű összes mozgó objektum is szóró felületként funkcionál. Ilyenek pl. a fasorok, gépjárművek, de a gyalogosforgalom is. A terjedési modellekben vagy statisztikai átlagolással veszik figyelembe a hatását a lassú fédingekkel együtt (empirikus vagy félempirikus modellek), vagy egzakt módon

³⁴ Julia ANDRUSENKO, Jack BURBANK, Jon WARD: *Modelling and Simulation for RF Propagation*, 2009. december 01. http://cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Globe.com/2009/3-propagationM_S.pdf (2015. 01. 05)

ray-tracing³⁵ (determinisztikus modell) eljárással próbálják leképezni a mechanizmusát. Ez utóbbi azonban meglehetősen számításigényes, és drága eljárás mivel a korábban már említett digitális felületmodellek (DFM) és 3D épületmodellek (pl. KMZ-be csomagolt Collada formátumban) meglétét igényli, az épületek és akadályok megfelelően pontos modellezésével és felületanyaguk ismeretével.

Elhajlás (Diffrakció):

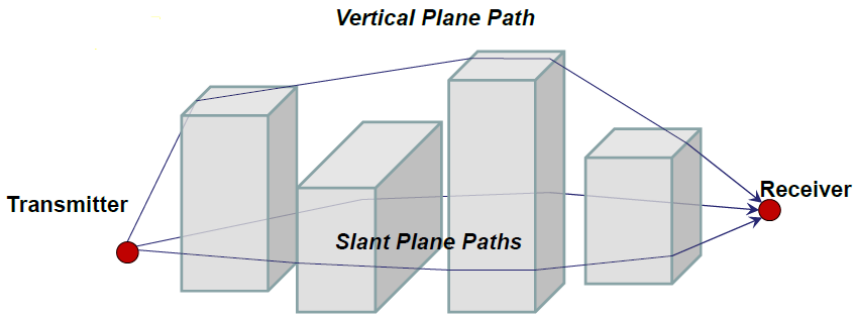
A geometriai optika közvetlen és visszavert terjedési módja nem alkalmas a vett jel kiszámítására az objektumok, akadályok mögötti árnyékolt tartományban (NLOS esete). Ha a szabadtérben terjedő hullám útjában akadály van, akkor a geometriai optika szerint az árnyékban lévő antenna helyére nem jut energia. A valóság azonban ezt nem igazolja. A helyes fizikai modell a hullámoptikán alapul, és eszerint az adóantennából kiinduló hullámfrontot másodlagos Huygensforrásnak kell tekinteni, és minden egyes elemének a sugárzását a vevőantenna felé fázishelyesen kell összegezni. Ez a terjedési modell egyaránt alkalmas lehet a különféle magassági viszonyú főleg alacsony és középhegyvidéki szintű (400-1600m) területek, valamint a nagyméretű mesterséges akadályokkal tűzdelt terület (belvárosok) terjedési viszonyainak modellezésére és leírására. A terepakadályokat általában parabolikus henger- és késélmodellel veszik figyelembe az egyszerűbb pont-terület modelleknél. A pont-pont 3D raytracing eljárásoknál részletes épületadatok alapján vertikális és horizontális irányban egyaránt számolják a hatásukat³⁶, általában maximum 3-10 egymás utáni diffrakcióig, ahogyan ez a 4. ábrán látható. Természetesen ez utóbbi sokkal pontosabb eredményt ad, de sokkal számításigényesebb is.

Elnyelődés (Absorption)

A rádióhullámok energiájának egy részét elnyelik az épületek anyagai, a növényzet, gépjárművek, az emberek teste, stb. Ez főleg akkor igaz, ha az antenna a radio cluttert okozó környezetben van, pl. sétáló emberek között, épületek között, épületen belül, erdős-fás területen. Mivel az elnyelő anyagok tulajdonsága és vastagsága változó, ezekre tipikus értékeket szoktak figyelembe venni.

³⁵ *sugárkövetés módszere: a geometriai optikán alapuló determinisztikus hullámterjedési modell ahol a sugárforrásból kiinduló hullámokat véges térszög-tartományokra bontva, ezeket függetlenül kezelve és az egyes utakra kiszámolva a terjedést (reflexió, scattering, diffrakció...), a megoldás a vételi helyen a különálló jel utakból származó jelek, vektoros eredőjeként adják meg.*

³⁶ *Greg SKIDMORE, Ron EICHENLAUB, Ryan OHS: Urban Propagation Predictions with Real-Time Models, USNC-URSI National Radio Science Meeting 2010. január 07. <http://www.remcom.com/articles-and-papers/urban-propagation-predictions-with-real-time-models.html> (2015. 01. 05)*



4. ábra: A diffrakció hatása nagyvárosi környezetben³⁷

Terjedési modellek

A terjedési modellek felhasználásának elsődleges célja a rádiós rendszerek, hálózatok tervezése során a kisugárzott illetve az interferáló források által generált teljesítményszintek megbecslése a vételi helyeken. A modellek két fő kategóriába sorolhatóak: a pont-pont (hely specifikus /épületek pontos adatai/), és a pont-terület (helyszín általános /épületek átlagos magassága/). Itt a pont-pont kategória nem az ilyen összeköttetésre utal, hanem, az adó és egy adott konkrét helyen lévő vevő közötti pontosabb geometriai terjedésmechanizmus leírását jelenti, amit csak az adott környezet pontos leírása mellett lehet kiszámolni. Ha ez utóbbi vizsgálatot az összes érdekes, vagy jellemző vételi helyre elvégezzük, jellemeztük a terület a felhasználók szemszögéből. A pont-terület modellek ezzel szemben kevésbé pontosak a fizikai terjedés leírása tekintetében, mivel a környezetet valamilyen közelítéssel veszik csak figyelembe (pl. terepakadályok átlagos magassága, stb.), de általánosságban jól jellemzik a viszonyokat teljes tartományú térmodellezéssel az adott területen. Mindkét típusból számtalan fajta létezik, de az egyes modellek között nincs legjobb, azok alkalmazását mindig a gyakorlati szempontok figyelembevételével a feladat függvényében lehet eldönteni. A pont-pont (a valódi összeköttetést fizikailag leíró) kategóriát szokták determinisztikus modellnek is nevezni. Ez utóbbinál a legpontosabb eredményt a valódi 3D-s Ray-tracing eljárás jelenti, ami viszont a legidőigényesebb is egyben (3-20 óra közötti idő)³⁸, ezért ez valósídejű, pl. azonnaliműveleti alkalmazásra nem alkalmas. A pont-terület kategóriát empirikus vagy (tapasztalati) modelleknek is nevezik, amelyek azonban kevésbé pontosak, de sokkal gyorsabban szá-

³⁷ SKIDMORE et al 2010.

³⁸ SKIDMORE et al 2010.

molhatóak. A határ elmosódott a kétféle megoldás között, mert pl. a félempirikus (előzetes mérésekből származó, de korrekcióval módosított, és így egy esetre, területre általánosított) modellek a két megoldás közötti átmenetet jelentik.³⁹

A feladat megoldására keskenysávú jelek esetén egyszerű épületgeometria mellett, a gyakorlatban empirikus és félempirikus modelleket használnak. A determinisztikus modellek alkalmazásának szükségessége az épületgeometria komplexitásának növekedése, továbbá a rádiócsatorna szélessávú, illetve időtartománybeli jellemzése miatt szükséges.⁴⁰

A különféle terjedési modellekből igen sokféle létezik, azonban van néhány általánosan elterjedt, és elfogadott modell, amelyet számos tervezést támogató GIS programban a számítások elvégzésére alkalmaznak. A predikciós programok ezekből általában többfélét is tartalmaznak, a vizsgált területnek legoptimálisabban megfelelő modell kiválaszthatósága érdekében. A terjedési modellek általában úgy épülnek fel, hogy a terjedésnek kétféle aspektusát veszik figyelembe. Az ún. Large-Scale modellek, az átlagos jelerősséget adják meg adott távolságú adó és vevő esetében, amellyel a területi lefedettséget lehet megbecsülni. Ezek számításba veszik a szabadtéri terjedést, a kétutas terjedést, valamint egyéb speciális terjedési modelleket, alkalmazhatnak pl. logaritmikus távolsági modellt árnyékolással, Nakagami modellt, Walfisch-Ikegami modellt, Longley-Rice modellt, Hata modell különféle változatait, ITM⁴¹, TIREM⁴² vagy COST modelleket. A Small-Scale modellek ezzel szemben a jelnek az előbbi átlagos értéke körüli gyors fluktuációját írják le a vételi vagy adási pozíció rövid távolságú változásaira, vagy rövid időtartamra. Ez a többutas terjedéssel és az ehhez kapcsolódó féding jelenséggel van összefüggésben. A small-scale fédingek leírása csak sztochasztikus folyamatokkal lehetséges. Ha az összeköttetésben van LOS komponens, akkor Rice eloszlással írható le a féding statisztika, ha nincs LOS komponens, akkor a Rice eloszlás egy speciális esetével, amit Rayleigh eloszlásnak neveznek. A small-scale fédingeket a terjedési modellekben Rice vagy Rayleigh modellel veszik figyelembe. Ha megfelelő mértékű összeköttetés tartalékot építünk be a terjedési modellünkbe, akkor adott esetben a Large-Scale modellek figyelembevétele is elegendő.⁴³

³⁹ GRAHAM et al 2007

⁴⁰ NAGY Lajos: *Determinisztikus beltéri hullámterjedési modellek*, *Híradástechnika*, LXII. évfolyam, 2007/3. http://hiradastechnika.hu/data/upload/file/2007/2007_3/HT_0703-2.pdf

⁴¹ ITM: *Irregular Terrain Model – Szabálytalan terepmodell*

⁴² TIREM: *Terrain Integrated Rough Earth Model – Terep integrált durva föld modell*

⁴³ ANDRUSENKO et al 2009.

A PMR rádiórendszerek felderítését meghatározó technikai adatok

A 2. ábrán a harmadik adathalmaz az általam vizsgált analóg és digitális PMR eszközök és rendszerek közül a legrelevánsabbnak ítélt engedély nélkül használható vagy illegálisan alkalmazott eszközök technikai műszaki adatai, hálózati besorolása, a vételt befolyásoló egyéb paraméterei. Ebben a tekintetben az egyik legfontosabb adat a frekvenciatartomány, melyet a terjedési formáknál már tárgyaltam, illetve részletesebben megtalálhatóak⁴⁴ a szakirodalomban. A sáv szélesség 6,25 kHz-től 25 kHz-ig terjed. A működési mód tekintetében számunkra az ún. közvetlen módú (Direct mode) beszéd esetleg kis sebességű adat kommunikáció a leglényegesebb, ugyanis ebben a formában képes kikerülni a hagyományos távközlési infrastruktúrákat két (vagy több) PMR eszköz⁴⁵. Ebben az esetben a rádiók lefedettségi területe átfedi egymást, mivel nincs közvetítő infrastruktúra. Közvetlen mód esetén pont-multipont típusú többnyire simplex módú átvitelt alkalmaznak FDMA csatornamegosztásnál, azonban TDMA típusú rendszereknél (DMR), a full duplex átvitel is megvalósítható, egy frekvencián annak két időrésében.

A kisugárzott teljesítmény 500 mW (27 dBm) az engedélyhez nem kötött sávokban, mind analóg mind digitális rendszereknél az EU-ban és az USA-ban egyaránt, ami a szakirodalom szerint városban, épületen belül 100 m, magas épületek között 400 m, nyílt terepen azonban akár néhány km hatótávolságot is jelenthet⁴⁶. Szerintem ez a hatótáv kissé alábecsült pesszimista érték, de a felderítés távolsága ennél mindenképpen nagyobb. Azonban pl. tuningolt, vagy kínai eszközök esetében ennél jóval nagyobb teljesítmények is előfordulnak a gyakorlatban: akár 1W (30 dBm) - 5 W (37 dBm), de még ennél nagyobb teljesítmények is. Ezekben az esetekben már jóval nagyobb 3-10 km, közvetlen rálátás (magas adó és/vagy vételi pontok) esetén akár 50 km hatótávolság is adódhat az alacsonyabb 160 MHz-es tartományban⁴⁷. Az átlagos vevőérzékenységek analóg rádióknál -75 dBm (nagyon rossz) és -90 dBm (elég jó) közé tehetők típustól és minőségtől függően. Természetesen a felderítésre használt professzionális eszközöknek ennél jobb is lehet az érzékenysége.

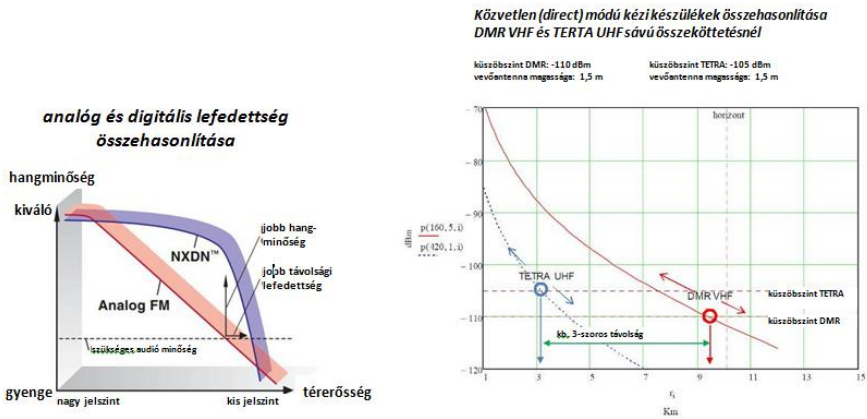
⁴⁴ BALOG Károly: *A PMR rádiózás kialakulása, fejlődése, jelentősége napjaink hírközlésében, Társadalom és Honvédelem, 2013. XVII. évf. 3.-4. szám, pp. 97-115.*

⁴⁵ BALOG 2013

⁴⁶ HANS-PETER A. Ketterling: *Introduction to Digital Professional Mobile Radio.* Artec House, 2004.

⁴⁷ KETTERLING 2004

Az analóg és a digitális rádiók az RF terjedés szempontjából nem különböznek⁴⁸, azonban modulációs és digitális kódolási jelfeldolgozási sajátosságuk miatt az analóg rádiókkal azonos érzékenységű vevők esetén, a digitális rádiók hatótávolsága nagyobb lehet kismértékben, az eltérő működésmód miatt ahogyan ez az 5. ábra bal oldalán látható. Ezen felül pedig a hangminőség szinte azonos a távolság függvényében, nem úgy, mint analóg esetben⁴⁹. A digitális átvitelt alkalmazó összeköttetéseknel a vételhatár nem csak emiatt tolódik ki, hanem a digitális rádiók analóg rendszerekhez képesti jobb érzékenysége miatt is. Azonban az eltérő digitális szabványok eltérő küszöbszintekkel rendelkeznek a különböző frekvenciatartományokban (5. ábra jobb oldala) ami különböző felderítési távolságokat eredményezhet az egyes szabványok eltérő tartományú működésénél. Az átmeneti időszaknak köszönhetően, azonban a rádiókészülékek többsége alkalmas lehet mind az analóg mind a digitális átviteli módra, így ugyan annál a készüléknél eltérő lehet a rádió felderítési távolsága, amit természetesen a kedvezőtlenebb analóg esetre kell figyelembe venni.



5.ábra: Az analóg és digitális PMR-ek térerőssége, audio minősége és vételhatára⁵⁰

⁴⁸ Larry D. ELLIS: *New Propagation Modelling Technologies – Digital system design relies on the same fundamental building blocks as good analog systems. MissionCritical Communications, June 2003.*

⁴⁹ Radio Activity S.r.l.: *ENB26 - DMR vs TETRA system comparison 1v2.doc, 2009.09 07.*
<http://www.radioactivity-tlc.com/documenti/ENB26-DMR-vs-TETRA%20comparison.pdf>

⁵⁰ Radio Activity S.r.l. 2009

Összességében megállapítható, hogy a rádiók hatótávolságát befolyásolják:

- az energetikai viszonyok, (a sugárforrás energiája, a felderítő eszköz érzékenysége, az antennák nyeresége valamint a környezet zajszintje);
- a rádiókészülékek frekvenciatartománya, mobilitása, a működés szabványa és módja;
- az adott tér geometriája (Az ember által készített környezet: az épületek, terepadályok, a környezet beépítettsége, valamint a természetes környezet domborzati viszonyai);

A felderítési távolságok azonban nagyobbak lehetnek a hatótávolságnál. A *felderítő eszköz hatótávolsága* az a mennyiségi mutató, amely kifejezi, hogy a felderítendő objektumhoz milyen közel kell a felderítő eszköznek /érzékelő elemnek/ elhelyezkednie, hogy azt - adott valószínűséggel - felderítse. A hatótávolság a felderítő eszköz felhasználója számára a legfontosabb paraméterek egyike, amely jelentősen behatárolja az alkalmazhatóságot. A hatótávolság fogalma természetesen a műszaki szakember számára lefordítható képletekre és formulákra, amelyek megfelelő geoinformatikai alapadatok ismeretében konkrét értékekben (távolságokban), és felderítési valószínűségekből realizálódhat az adott körülmények között.

Ez a szemlélet a polgári életben már nem új keletű a mobilszolgáltatók a kezdetek óta próbálnak olyan terjedési sajátosságokat, és a környezet hatásait egyaránt figyelembevevő predikciós terjedési modelleket megalkotni, amelyek nagy segítséget nyújtanak egy adott terület terjedési sajátosságainak feltérképezésében, illetve egy már létező szolgáltatás területi lefedettségének és minőségének megállapításában. Ezeket természetesen már széleskörűen alkalmazzák a védelmi kommunikációs és felderítő rendszerek tervezése és üzemeltetése során is. A cikk tervezett második részében ilyen programokat fogok bemutatni.

5. Összegzett következtetések

A tervezéshez szükséges geo-információs, geo-lokációs értékeléseket és számításokat általában jóval a felderítési tevékenység megkezdése előtt el lehet végezni, azonban a nemzetbiztonsági rádiófelderítés a katonai rádiófelderítés tevékenységétől a feladat végrehajtás jellegében, előre tervezhetőségében jelentősen eltér. Ezért a tevékenység tervezéséhez kvázi-valós időben eredményt adó GIS alkalmazásokat célszerű használni, amely gyorsan reagál a változó helyzetre. Pontos épületadatokon alapuló szimulációk elvégzése előkészületet igényel, és a 3D raytracing eljárások nagyon időigényesek, így köztes megoldást kell találni a számítási pontosság és a valósidejűség ellentmondó követelményei között.

Az intelligens, számítógépes, műveleti döntéstámogató rendszerekben a digitális térkép a tervezés alapja, amely fölött végezhető csak el mindenféle

kommunikációs felderítő művelet megtervezése, a végrehajtott feladatok kiértékelése. A feladatok, erőforrások és lehetőségek egyetlen - geoinformatikai GIS- rendszerbe foglalhatók, ahol a feltételek (korlátok és lehetőségek) megjeleníthetők és érvényesíthetők.

Felhasznált szakirodalom

- Anatoly Rembovsky, Alexander Ashikhmin, Vladimir Kozmin, Sergey Smolskiy: Radio Monitoring, Problems, Methods, and Equipment, Springer 2009
- BALOG Károly: A PMR rádiózás kialakulása, fejlődése, jelentősége napjaink hírközlésében, Társadalom és Honvédelem, 2013. XVII. évf. 3.-4. szám, pp. 97-115.
- BALOG Károly: Digitális PMR rendszerek összehasonlítása I., Hadmérnök, IX. évf. 3. szám. 2014. szeptember
http://www.hadmernok.hu/143_08_balogk.pdf (2014. 09. 30)
- DAY J.(ESRI India), GIS as a Platform For Special Forces, Geo Intelligence India (Geospatial-Force Multiplier for Modern Warfare) New Delhi, India, 2013. 06. 13-14.
<http://www.slideshare.net/EsriIndia/gis-as-a-platform-for-special-forces> (2014. 12. 05.)
- ELLIS Larry D.: New Propagation Modelling Technologies – Digital system design relies on the same fundamental building blocks as good analog systems. MissionCritical Communications, June 2003.
- GRAHAM A., Nicholas C. Kirkman, Peter M. Paul: Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands: A Practical Approach, John Wiley & Sons Ltd. 2007.
- GREG Skidmore, RON Eichenlaub, RYAN Ohs: Urban Propagation Predictions with Real-Time Models, USNC-URSI National Radio Science Meeting 2010. január 07.
<http://www.remcom.com/articles-and-papers/urban-propagation-predictions-with-real-time-models.html> (2015. 01. 05)
- HAIG Zsolt: Az elektronikai felderítés tervezése, térinformatikai eszközön. Hadtudományi Tájékoztató, 1996, 2. sz., Budapest, 79-88p
- HAIG Zsolt: Az elektronikai harc térinformatikai adatbázisa. Hadtudomány 1996, 4. sz., Budapest, 75-83p. ISSN 1215-4121
- HANS-PETER A. Ketterling: Introduction to Digital Professional Mobile Radio. Artec House, 2004.
- Julia ANDRUSENKO, Jack BURBANK, Jon WARD: Modelling and Simulation for RF Propagation, 2009. december 01.

- http://cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Globecom_2009/3-propagationM_S.pdf
- Koós Tamás: A harcvezetési rendszerekben alkalmazható digitális magasságmodellek és azok jellemzői, Hadmérnök, III. évf. 4. szám, 2008. december
http://hadmernok.hu/archivum/2008/4/2008_4_koos.pdf (2014. 12. 19.)
 - MEZEI László: Háromdimenziós városmodellek generálása, szakdolgozat /ELTE IK PSZT/, 2011, Budapest
http://people.inf.elte.hu/fekete/tamop_2010/Szakdolgozat_diploma/Mezei_L_szakdolgozat.pdf (2014. 12. 19.)
 - NAGY Lajos: Determinisztikus beltéri hullámterjedési modellek, Híradástechnika, LXII. évfolyam, 2007/3.
http://hiradastechnika.hu/data/upload/file/2007/2007_3/HT_0703-2.pdf
 - DR. SIKI Zoltán: Bevezetés a térinformatikába, ppt bemutató
<http://slideplayer.hu/slide/2124812/#> (2014. 12. 15.)
 - GIS in the Defense and Intelligence Communities, Volume 2. ESRI
<http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-in-defense-vol2.pdf> (2014. 12. 17.)
 - Radio Activity S.r.l.: ENB26 - DMR vs TETRA system comparison 1v2.doc, 2009.09.07.
<http://www.radioactivity-tlc.com/documenti/ENB26-DMR-vs-TETRA%20comparison.pdf>
 - R&S PCT Propagation Calculation Tool – Site planning for radiomonitoring systems
http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/PCT_bro_en_3606-7118-12_v0201.pdf (2014. 12. 18.)