

A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐK FEDÉLZETÉN ALKALMAZOTT ZAVARÓ BERENDEZÉSEK ÉS A ZAVARHATÉKONYSÁG KÉRDÉSEI

BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőgépekkel foglalkozó publikációk túlnyomó többsége a repülőgépek sárkányszerkezetével, hajtóművével, fedélzeti hasznos terheivel és az irányítórendszerekkel foglalkozik. Átfogó bemutatásuk, műszaki paramétereik és lehetséges alkalmazási módjaik sokféle írott és elektronikus forrásirodalomban fellelhetők. Az utóbbi időben több írás foglalkozott a repülésbiztonság jogi és műszaki követelményeinek kidolgozásával, valamint a fedélzeti robotpilóta egységek fejlesztésének kérdéseivel.

A szakirodalom és ezen belül a katonai alkalmazásokkal foglalkozó irodalom a pilóta nélküli repülőgépek egyik lehetséges feladataként jelöli meg az elektronikai hadviselési alkalmazásokat, az elektronikai felderítési és zavarási feladatokat. Néhány repülőgép esetében publikáltak is ilyen képességeket, azonban – talán az elektronikai hadviselés szenzitív jellegénél fogva – ezen eszközök részletesebb paramétereiről, harci képességeiről nagyon hiányos a szakirodalmi tájékozottság.

E konferencia előadás első fejezete a teljesség igénye nélkül áttekinti az irodalomban fellelhető olyan pilóta nélküli repülőgépeket, amelyek publikáltan valamilyen elektronikai zavarási képességgel rendelkeznek. A második fejezet azt elemzi, hogy adott rádiózavarási konfigurációhoz milyen jel/zavar viszony létrehozása szükséges, hogy a zavarás hatékony legyen, és megvizsgálja, hogy milyen célszerű repülési és más konstrukciós paraméterek kívánatosak. Értékeli a felszálló össztömeg és a hasznos teherbírás viszonyát, elsősorban arra keresve a választ, hogy a mai technológia révén milyen energiaviszonyok érhetőek el a zavarási feladat végrehajtására. A téma terjedelmére való tekintettel jelen előadás csak a rádiózavarással foglalkozik, a rádiólokációs eszközök zavarásáról egy későbbi előadásban lesz szó.

ZAVARÁSI KÉPESSÉGGEL RENDELKEZŐ PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK

KZO Mücke és Fledermaus - Németország

A német Rheinmetall cég (korábban Atlas Elektronik) 2001-ben hat kisméretű, pilóta nélküli felderítő-célmegjelölő repülőgépes rendszerre (Kleinfluggerät Zielortung - KZO) kapott megrendelést a Bundeswehrtől. A program 2007-ben fejeződik be, amely során 60 repülőgépet és 12 földi rendszert adnak át. Az alaptípust infravörös kamerával, lézer távmérővel és célmegvilágítóval látták el, amely valós időben szolgáltat képeket a földi célokról. A céladatok (pozíció, sebesség, stb.) az akár 100 km-re lévő földi vezetési pontra kerülnek, amely a precíziós tűzéség, vagy a csapásmérő rakétaegységek számára is alkalmas célmegjelölést adhat. A rendszer minden időjárási helyzetben, éjjel és nappal egyaránt bevethető.

Több változatát fejlesztették ki felderítési, csapásmérési, valamint elektronikai zavarási célokra.

Két elektronikai hadviselési változat is létezik. Elektronikai felderítő (ESM) célokra a Fledermaus, rádió-rádiótechnikai zavarásra, pedig a Mücke. A zavaró berendezések a 20-110 MHz-es kommunikációs alsó, és a 100-500 MHz-es felső sávban üzemelnek. A felderítő berendezések kommunikációs és radarjelek vételére, analizálására és adataik földre való továbbítására szolgálnak. [1]

A Rheinmetall már dolgozik azon a Taifun változaton, amely az elektronikai berendezések pusztítására szolgáló nagyenergiájú mikrohullámú fegyvert (High Power Microwave Device – HPMD) hordoz a fedélzetén.[2]



1. kép. A Mücke elektronikai zavaró pilóta nélküli repülőgép

Harcászati-technikai adatok

1. táblázat

Tömeg	Max. 160 kg
Hasznos teher	Max. 50 kg
Repülési magasság	Max. 4000 m
Szárnyfesztávolság	2,26 m
Repülési idő	Max. 4 óra
Legnagyobb sebesség	200 km/h
Akciórádusz	100 km
Meghajtás	1 db, kéthengeres, 43 LE-s kétütemű benzinmotor, kéttollú, fa tolólégcsavar

Hermes-450 - Izrael

Az izraeli Hermes-450 nagyjából kompozit anyagokból épült, optimalizált aerodinamikai felépítésű, egymotoros pilóta nélküli repülőgép. (2. kép) Fejlett avionikai rendszere lehetővé teszi az autonóm repülést, beleértve a fel- és leszállást is. Hasznos terhei között optoelektronikai felderítő, elektronikai jelfelderítő (SIGINT), zavaró (ECM), valamint szintetikus apertúrájú radar (SAR) lehet.[3]



2. kép. A Hermes-450 pilóta nélküli repülőgép

Harcászati-technikai adatok

2. táblázat

Tömeg	Max. 450 kg
Hasznos teher	Max. 150 kg
Repülési magasság	Max. 7600 m
Szárnyfesztávolság	10,5 m
Repülési idő	Max. 24 óra
Legnagyobb sebesség	205 km/h
Akciórádusz	200 km
Meghajtás	2 db, 28 kW-os benzinmotor, tolólégcsavar

ASN-206 - Kína

Az ASN-206 egy könnyű, közepes hatótávolságú harcászati felderítő repülőgép, amelyet a Xi'an ASN Technology Group Company, és a Northwest Polytechnic University fejlesztett ki. (3. kép) Használható, mint nappali/éjszakai harctéri felderítő, célmegjelölő, határmegfigyelő, nukleáris sugázmérő, légi fényképező és elektronikai zavaró repülőgép. Egy standard ASN-206 rendszerbe 6-10 repülőgép, irányító gépkocsi, mozgó irányító állomás, indító kocsi (mindegyik egy repülőt szállít), áramforrás gépkocsi, felderítési adatfeldolgozó gépkocsi, karbantartó gépkocsi és szállító gépkocsi tartozik. [4]



3. kép. A kínai ASN-206 pilóta nélküli repülőgép

Harcászati-technikai adatok

3. táblázat

Tömeg	Max. 222 kg
Hasznos teher	Max. 50 kg
Repülési magasság	Max. 6000 m
Szárnyfesztávolság	6 m
Repülési idő	Max. 8 óra
Legnagyobb sebesség	210 km/h
Akciórádusz	150 km
Meghajtás	1 db, 51 LE-s 4 hengeres motor, tolólégcsavar

Moshkarec – Belorusszia

A belorusz-országi közös fejlesztésű Moshkarec pilóta nélküli repülőgépet (4. kép) a „MILEX-2003” nemzetközi fegyverzeti és haditechnikai kiállításon mutatták be először Minszkben. A repülőgépet a moszkvai "Новик XXI век" cég építette, az elektronikai eszközöket, pedig egy „MTK” nevű belorusz magán cég.

Eredeti változata elektronikai zavaró berendezéseket hordoz, amelyek a 30-1200 MHz-es frekvenciatartományban (tíz, előre kiválasztható alsávban: 30-110 MHz, 110-220 MHz, stb.) képesek széles-sávú zajzavart létrehozni. Léteznek foto-, illetve televíziós kamerával felszerelt modifikációi is.

A 30-40 km hatótávolságon belül a repülés előre programozott útvonalon történik, a fedélzeti berendezéseket is a program szerint kapcsolja be. [5]



4. kép. Az orosz Moshkarec pilóta nélküli repülőgép

Harcászati-technikai adatok

4. táblázat

Tömeg	Max. 2,5 kg
Hasznos teher	n. a.
Repülési magasság	1000 m
Szárnyfesztávolság	2 m
Repülési idő	1 óra
Legnagyobb sebesség	200 km/h
Akciórádusz	30-40 km
Meghajtás	1 db villanymotor, húzó-légcsavar

Szojka-III RT (RA) - Magyarország

A Szojka-III több célú, kisméretű, pilóta nélküli repülőgép komplexumot a Cseh Köztársaság és a Magyar Köztársaság közötti hadiipari kooperáció keretében fejlesztették ki.

A feladatok jellegének megfelelően a Szojka-III/TV (5. kép) alapváltozatából több modifikáció is kidolgozásra került. Az alapváltozat szektoros vagy körkörös TV-kamerával felszerelt vizuális felderítő, a Szojka-III/G-sugárfelderítő, a Szojka-III/RT rádiólokációs felderítő és zavaró, a Szojka-III/RA rádió-felderítő és zavaró; Szojka -III/VTV nagy érzékenységu vizuális felderítő és Szojka-III/IK pedig infrakamerás vizuális felderítő változat.

A felszállás katapultsínről gyorsító rakétával, a leszállás ejtőernyővel történik. Irányítási módja lehet kézi, félautomata - robotpilóta segítségével és autonóm üzemmód - számítógépes program alapján. A rendszer a pilóta nélküli repülőgép 600 méteren való repülése esetén lehetővé teszi a 2x4 méter nagyságú célok felismerését. A célok koordinátái meghatározásának pontossága GPS alkalmazásával 50 méter, a földi navigációs rendszer alkalmazásával 100 méter.



5. kép. A cseh-magyar Szojka-III pilóta nélküli repülőgép

Harcászati-technikai adatok

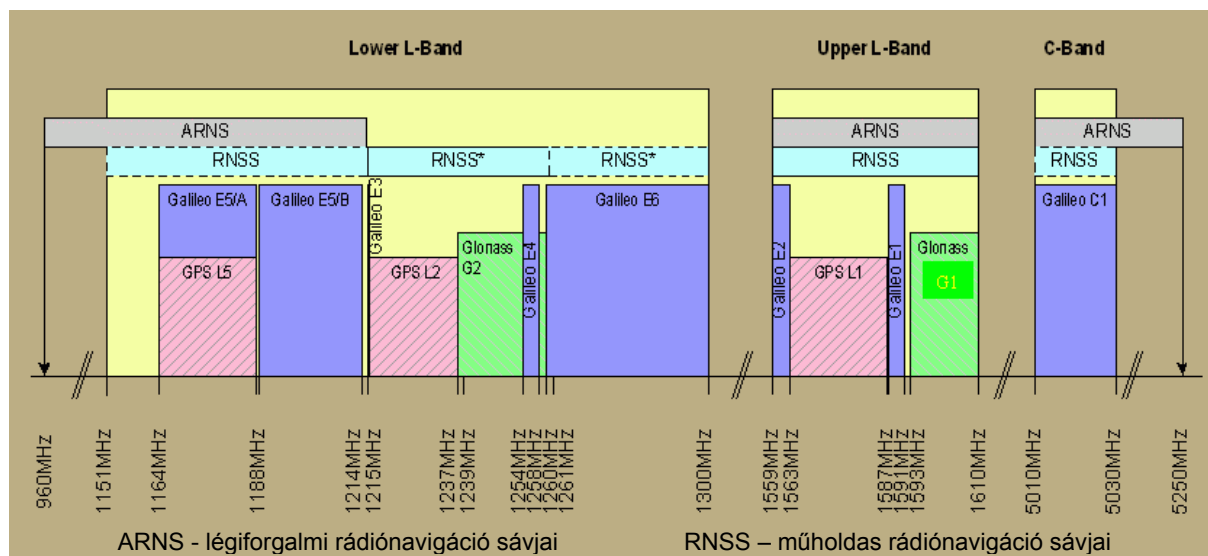
5. táblázat

Tömeg	145 kg
Hasznos teher	20 kg
Repülési magasság	50-3000 m
Szárnyfesztávolság	4 m
Repülési idő	3,5 óra
Legnagyobb sebesség	220 km/h
Akciórádusz	100 km
Meghajtás	1 db 28 kW-os Wankel motor, tolólégcsavar

A KOMMUNIKÁCIÓS ESZKÖZÖK ZAVARÁSÁNAK FOLYAMATA ÉS A ZAVARHATÉKONYSÁG KÉRDÉSE

A harcászati mélységben alkalmazható rádiózavaró eszközök elsődleges célpontjai:

- a harcászati raj-szakasz-század-zászlóalj híradásban üzemelő kézi hordozható és harcjárműbe épített híradó eszközök a 20-88 MHz-es tartományban;
- az előretolt repülő rávezető pontok híradó eszközei a 116-150 MHz-es sávban;
- a harcászati műholdas híradás eszközei a 225-400 MHz-es sávban;
- a globális műholdas navigációs rendszerek eszközei (frekvenciáit ld. az 5. képen);
- földi cellarádió rendszerek eszközei a 900, 1800 és 1900 MHz-es sávban;
- egyéb speciális rendszerek eszközei, pl.: harcászati információs rendszer – JTIDS 960-1215 MHz között, saját-ellenesség felismerők – BCIS, 38 GHz-en, stb.



- a zavaró berendezés teljesítménye;
- a zavaró állomás antennájának nyeresége a lefogandó vevő irányában;
- a zavarandó összeköttetés távolsága és az azon fellépő szakaszcillapítás;
- a zavaró adó és a lefogandó vevő távolsága, az azon fellépő szakaszcillapítás;
- a hullámterjedést befolyásoló tényezők;
- az üzemi frekvencia;
- a zavaró adó által létrehozott zavarjel üzemmódja (moduláció típusa);

A gyakorlati számítások során ennyi tényezőt egzakt módon nem lehet figyelembe venni, ami tehát bizonyos fizikai tényezők elhanyagolását, leegyszerűsítését jelenti. A korszerű számítástechnikai eszközök segítségével a számítások precizitása fokozható, például az összeköttetési és zavarási szakaszokon fellépő szakaszcillapításoké. A korábbi elhanyagolások helyett például a terep által okozott diffrakciós terjedést modellezve a valós energiaviszonyok jól közelíthetők.

A rádiózavarás számítási eljárásaiban két alapvető kérdésre keressük a választ:

- adott műszaki paraméterekkel rendelkező konfiguráció esetén mekkora az összeköttetés lefogáshoz minimálisan szükséges zavarteljesítmény;
- adott teljesítményviszonyok mellett mekkora a lefogási zóna távolsága?

A továbbiakban ezt fogjuk áttekinteni.

A rádióeszközöket akkor lehet lefogni, - rendeltetésszerű működésüket az előírt mértékben akadályozni – ha a vevőberendezésük bemenetére az adott üzemmód mellett a lefogáshoz minimálisan szükséges zavarjelnél nagyobb juttatunk. A lefogás bekövetkezésekor a bemeneten fellépő zavarjel és hasznos jel teljesítményének minimális arányát lefogási tényezőnek nevezzük.

$$K_{z \min} = \frac{P_z}{P_j} \quad (1.)$$

A zavarás hatékonynak számít, ha a vevő bemenetén nagyobb zavar/jel viszonyt tudunk létrehozni, mint $K_{z \min}$. Minél kisebb ez az arányszám, annál könnyebb energetikailag a hatékony zavarást létrehozni. Azt a területet, térrészt, ahol $K > K_{z \min}$ lefogási zónának, ahol pedig $K < K_{z \min}$, azt le nem fogott zónának nevezzük. A zónahatár azon a térbeli felületen foglal helyet, ahol $K = K_{z \min}$.

Ha $K_{z \min}$ ismert és adottak az állomások technikai, valamint elhelyezkedési paraméterei, akkor az effektív lefogáshoz szükséges minimális zavaró teljesítmény az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$P_{z \min} = K_{z \min} \frac{P_j G_j D_z^2 \Delta f_z}{G_z D_j^2 \Delta f_v \vartheta_z} \quad (2.)$$

ahol: $P_{z \min}$ – a hatékony zavaráshoz szükséges minimális teljesítmény;

$K_{z \min}$ – lefogási tényező;

P_j – a lefogandó összeköttetésben dolgozó adó teljesítménye;

G_j – a lefogandó összeköttetésben dolgozó adóantenna nyeresége a vevőkészüléke irányában;

G_z – a zavaró állomás antennájának nyeresége a vevő irányában;

D_z – a zavaró állomás és a vevő közötti távolság;

D_j – a lefogandó összeköttetésben dolgozó adó és vevő közötti távolság;

Δf_z – a zavarjel sáv szélessége;

Δf_v – a vevőkészülék vételi sáv szélessége;

ϑ_z – polarizációs egyeztetési tényező.

A rádióösszeköttetés lefogási távolsága matematikai átrendezéssel egyszerűen kapható:

$$D_z = D_j \sqrt{\frac{P_z G_z \Delta f_v \vartheta_z}{P_j G_j \Delta f_z K_z}} \quad (3.)$$

A gyök alatti mennyiséget a zavaró konfiguráció energetikai potenciáljának nevezzük. [7] Jelöljük β -val. Ha $\beta < 1$, akkor a zavaró állomás energetikai potenciálja kisebb, mint a rádióösszeköttetésé és ekkor a zavarási zóna egy olyan kör alakú zóna belsejében lesz, amelynek a sugara R_z :

$$R_z = D_{zj} \frac{\beta}{1 - \beta^2} \quad (4.)$$

ahol: D_{zj} – a zavarandó adó és a zavaró adó közötti távolság;

A lefogási zóna középpontja a zavarandó adóval ellentétes oldalon van, a zavaró adótól d_z távolságra.

$$d_z = R_z \beta \quad (5.)$$

A d_z nagysága növekszik, miközben β tart az 1-hez. $\beta = 1$ -nél határértékben végtelen.

Amikor $\beta > 1$, vagyis a zavaró állomás energetikai potenciálja nagyobb, mint a híradó összeköttetése, akkor a lefogható zóna az egész környezet lesz, kivéve a lefogandó adó körüli kör alakú területet. A le nem fogható zóna sugara R_{lnf} .

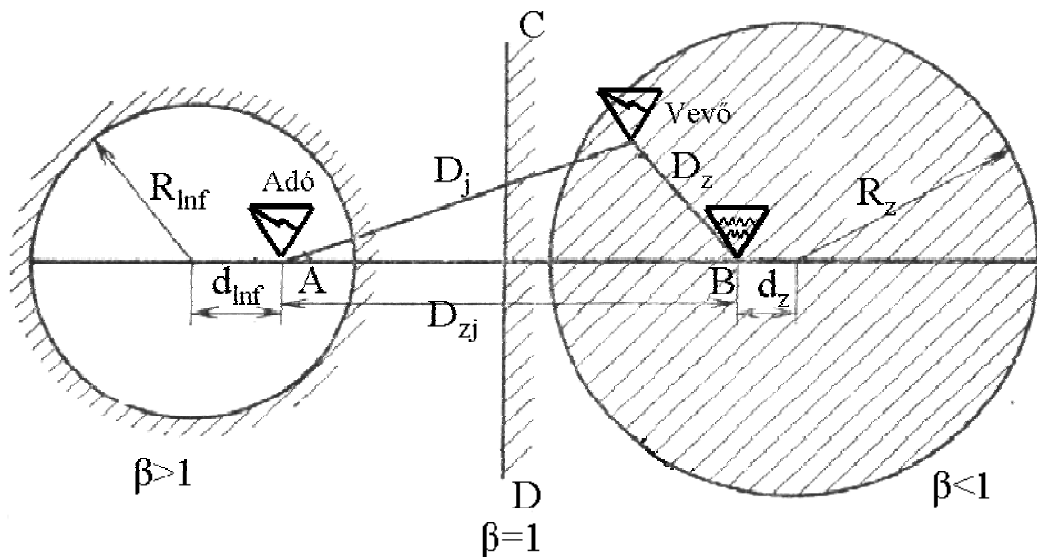
$$R_{lnf} = D_{zj} \frac{\beta}{\beta^2 - 1} \quad (6.)$$

A zóna középpontja szintén eltolódik, még hozzá a zavaró adó irányával ellentétes irányba d_{lnf} távolságra.

$$d_{lnf} = \frac{R_{lnf}}{\beta} \quad (7.)$$

Amennyiben a $\beta = 1$, akkor a lefogási zóna határa egy egyenes, amely a lefogandó és a zavaró adó között féltávolságon helyezkedik el.

A három esetet az 1. ábrán együtt láthatjuk.



1. ábra. A lefogható és le nem fogható zónák esetei az energetikai potenciál függvényében

A pilóta nélküli repülők feladata lesz az, hogy a kisebb teljesítményű fedélzeti zavaró állomás energetikai potenciáljának csökkenését a zavarási távolság csökkentésével kompenzálják azáltal, hogy a lefogandó vevőkészülékek közelében hajtják végre a zavarást.

A FREKVENCIAUGRATÁSOS RÁDIÓK VÁLASZZAVARÓ ÁLLOMÁSOKKAL VALÓ ZAVRÁSÁNAK FELTÉTELEI ÉS MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGEI [8]

Mivel a 80-as években, vagy korábban fejlesztett rádiózavaró állomások nem alkalmasak a frekvenciaugratásos adások követésére, ezért egy teljesen új eljárással válik lehetségessé azok aktív zavarókkal való lefogására. Mivel megkülönböztetünk úgynevezett lassú frekvenciaugratásos (Slow

Frequency Hopping – SFH) és gyors frekvenciaugratásos (Fast Frequency Hopping – FFH) rendszereket, célszerű a vizsgálatot külön-külön elvégezni. A konstrukciós szempontok várhatóan több különböző rendszertechnikai felépítésű zavaróállomás típust igényelnek, amelyek alapvető harcászati-műszaki paramétereit is keressük.

A frekvenciaugrás és a harctér geometriai modelljének megalkotáshoz rögzítenünk kell néhány kiinduló adatot, amelyek segítségével a számvetéseket elvégezhetjük, majd ha szükséges, megvizsgáljuk az ezektől való eltérések hatását is. Az első használatos állandó a rádióhullámok terjedés sebessége, amely a fénysebességgel azonos, 3×10^8 m/s, vagyis 300 m/μs.

A lefogandó összeköttetésben üzemelő rádiók alapvető paraméterei a frekvenciatartomány, amelyben az ugrásfrekvenciák előfordulhatnak, az adóteljesítmény, az elemi benntartózkodási idő, a frekvenciaváltáshoz szükséges idő, valamint a másodpercenkénti ugrások száma. Alapvetően 30-100 MHz között üzemelő, 1-50 W teljesítményű harcászati-hadművelti rádiókészülékekkel számolunk. Az egyes ugrások időtartama és a másodpercenkénti ugrások száma matematikailag fordított arányban állna egymással, ha nem vennénk figyelembe a frekvenciaváltáshoz szükséges időtartamot.

A továbbiakban legyen a gyors frekvenciaugratás gyakorisága, például 4000 ugrás/s, a benntartózkodási ideje pedig 125 μs, vagyis 1:1 arány legyen az adás és az áthangolások időtartama között. A lassú frekvenciaugratás legyen másodpercenként 100 ugrás, a benntartózkodási idő pedig 5 ms, vagyis itt is 1:1 az arány. Ezek a számok nem egy konkrét eszköztípusra vonatkoznak, hanem csak a gondolat kísérlethez kellenek. Minden további konkrét adatot ezekhez hasonlóan fogunk értékelni.

A harctér geometriai modelljének felvétele során egyelőre tekintsünk el a domborzati viszonyoktól, legyen a hullámterjedés ideálisan szabadtéri.¹ A legfontosabb paraméter tehát a távolság. A távolság azért is fontos paraméter, mert például egy 125 μs időtartamú jel a térben $125 \mu s \times 300 \text{ m}/\mu s = 37,5$ km hosszú, ami összemérhető a terepen elhelyezkedő rádiórendszer és a zavaróállomás pozíciójának geometriai méreteivel. Így tehát nemcsak az energetikai viszonyok, hanem a futási idők is szerepet fognak játszani.

A valós, több állomásból álló rádiórendszerek esetén a zavarhatékonyág elemzéséhez meg kell vizsgálni, hogy az egyes állomások adási periódusaiban mely vevők foghatók le, tisztán az energetikai szempontokat figyelembe véve. Ez hagyományos adástechnikát (RH, URH, – AM, FM) használó hírendszerek esetén meg is valósítható, mivel a közlemények viszonylag hosszú idejűek, frekvenciában, üzemmódban elkülöníthetőek, az iránymérési eredmények alapján gyorsan lokalizálhatóak. A felderítő-iránymérő technológia gyorsabb, mint a híradás üteme, ezért van arra is idő, hogy az újra és újra megszólaló adókra mérve azonosítsuk őket, kijelöljük a zavarokkal célszerűen lefogható, vagy le nem fogható állomásokat. Az elektronikai támogatás információinak, mérési eredményeinknek analízisa és matematikai modellek lefuttatása után automatizálttá tehetjük a zavaró rendszert.

További fontos paraméter a zavaró adó válaszkésleltetési ideje (Jammer Response Time). Ezt úgy definiálhatjuk, hogy ez az az idő, amely az ellenséges rádióadó jelének, a zavaró állomás pozíciójában való megjelenésétől a zavarjel kisugárzásának kezdetéig eltelik. Érezhető, hogy az a cél, hogy olyan berendezés struktúrát alakítsunk ki, amely ezt az időt minél alacsonyabb értékre képes leszorítani. Ez alatt az idő alatt meg kell határozni a jel frekvenciáját, át kell adni az adónak, azt le kell hangolni, és indítani kell a zavarást.

Különböző konstrukciós megoldásokkal persze lehet csökkenteni azt. Ilyen lehet például, hogy a letapogató (scannelő) – akár gyorsműködésű – vevő helyett mátrix vevőt, szűrőbank vevőt stb. alkalmazunk, azaz keresés nélküli, azonnali frekvencia meghatározó vevőt. Adóként gyors frekvenciaszintetizátort és ultralinear végfokozatot alkalmazhatunk, amit nem kell a frekvenciaváltáskor kihangolni.

A számításokhoz vegyünk a zavaró adó válaszkésleltetési idejére példaképpen 100 μs-ot. Ez nem egy nagy követelmény, mivel például az azóta a rendszerből kivont rádiótechnikai válaszzavaró állomások hasonló időparamétere mintegy 50-70 μs volt.

Meg kell gondolnunk, hogy az ilyen impulzus üzemű adásoknál mit nevezünk gyenge, közepes és erős zavarnak. A hatékonyság szempontjából meg kell különböztetnünk a különböző modulációs módokat, mivel azok alapvetően befolyásolják a hatékonyságot. Vegyünk például egy lassú hopping

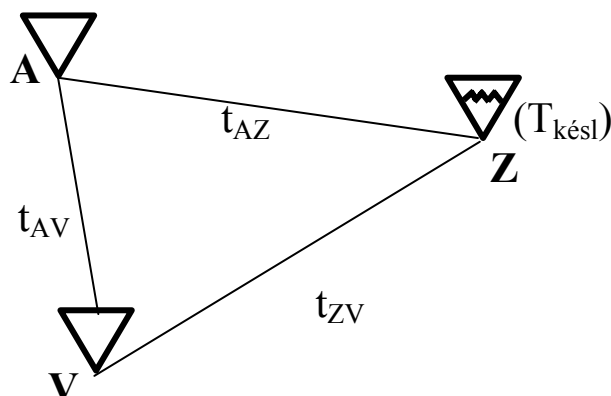
¹ Ez alatt azt értjük, hogy két pont között pusztán a szabadtéri szakaszcshipitást vesszük figyelembe, eltekintünk a diffrakciós terjedési viszonyoktól, a különböző reflexiós hatásoktól, a domborzattól, a lehetséges többutas terjedéstől és minden más, a valóságban nem elhanyagolható befolyásoló tényezőtől.

rendszert, ahol például egy adási periódus alatt 50-200 bit adat is átmegy. Ha számításba vesszük a digitális rendszerekbe épített redundanciákat és a hibajavító kódolás hatását, azt mondhatjuk, hogy várhatóan az impulzusból elveszett 1-3 bit (2-5%) még nem okoz látványos hibákat. Ha azonban a zavar eléri a 20-40 %-ot, akkor komoly hibák jönnek létre, és 40-50 % fölött hirtelen teljesen összeomlik a közlemény.

Most vizsgáljuk meg, hogy mi a helyzet a gyors és a lassú hopping rendszerek zavarásakor, ha a fenti peremfeltételeket vesszük figyelembe.

A gyors frekvenciaugratásos rendszerek zavarása

Vegyünk egy általános helyzetet, (2. ábra) amelyben legyen egy adó (A), egy vevőkészülék (V) és egy zavaró berendezés (Z).



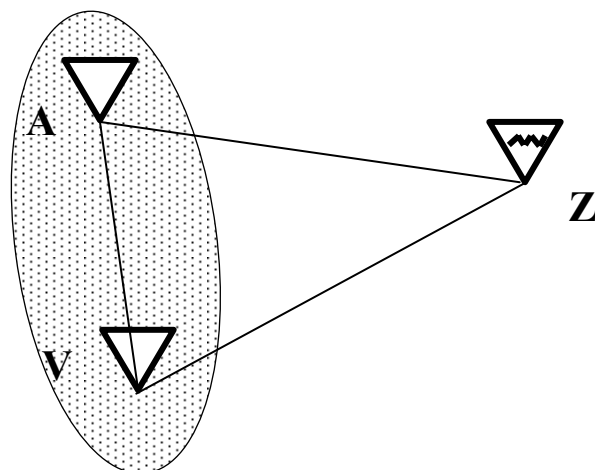
2. ábra: A zavarás alapkonfigurációja

Az adó által kibocsátott elemi jelcsomag (hop) $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ sebességgel elindul a vevő és a zavaró adó felé egyaránt. A hullámfront eleje a vevőt t_{AV} idő múlva éri el, a zavaróadó vevőjét pedig t_{AZ} idő múlva. Ettől az időpillanattól számítjuk a $T_{késl}$ zavaró adó válasz késleltetési idejét. A $100 \mu\text{s}$ elteltével a zavarjel elindul a vevőkészülék felé és t_{ZV} idő alatt ér oda. Ha a $125 \mu\text{s}$ benttartózkodási időt távolságban számoljuk, az $37,5 \text{ km}$ -nek felel meg. A zavaróállomás $100 \mu\text{s}$ -os késleltetése 30 km , ami azt jelenti, hogy ha a zavaró jel $(t_{AZ}-t_{AV})+T_{késl}+t_{ZV}$ időben $25 \mu\text{s}$ -nál (távolságban $7,5 \text{ km}$) hosszabb, akkor a zavaró jel lekészte a vételi tartományt, vagyis nem találkozik a hasznos jellel a vevő bemenetén.

Vizsgáljuk meg szélső esetekre. Ha a zavaró adót az adó (A) pontba tesszük, akkor $t_{AZ}=0$, a zavarási késleltetés azonnal indul, ahogy az adó kezd sugározni, majd t_{AV} idő múlva a hasznos jel odaér a vevőhöz. $100 \mu\text{s} + t_{AV}$ idő elteltével a zavarjel is eléri a vevőt. Esetünkben a hasznos jel és a zavarjel $125-100=25 \mu\text{s}$ ideig átfedek egymást, vagyis a lefogás időben teljesül.² Ha a zavaró adót a vevőpontban helyezük el, akkor $t_{AZ} = t_{AV}$ és $t_{ZV} = 0$, a jel vételének pillanatától indul a zavaró adó késleltetési ideje, majd a $100 \mu\text{s}$ -tól indul a zavarás, vagyis ismét $25 \mu\text{s}$ az átfedés. Belátható, hogy a zavaró adót bárhol elhelyezve az adót és a vevőt összekötő egyenes mentén, ugyanezt az eredményt kapjuk. Mekkora az a távolság, ahol az átfedés a legnagyobb $25 \mu\text{s}$ -ról éppen 0-ra csökken? Ez azon pontok halmaza, amelyek az adó-vevő távolság+ $7,5 \text{ km}$ állandó távolságban vannak, vagyis egy ellipszis³ pontjai. (3. ábra)

² Feltételezzük, hogy a zavarás energetikailag is hatékony.

³ Az ellipszis matematikai definíciója: azon pontok mértani helye, amelyek távolságainak összege két adott ponttól állandó. A két pont, az ellipszis fókuszpontja, amelyen az adó és a vevő helyezkedik el.



3. ábra: A pontozott terület azon pontok halmaza, ahol az átfedés nagyobb, mint 0, de kisebb, mint 25 μ s

Megállapíthatjuk tehát, hogy a zavarás időben annál hatékonyabb, minél közelebb vagyunk az adót és a vevőt összekötő egyeneshez. A maximum az egyenesen van, ott pedig bárhol. A hatékonyság éppen 0-ra csökken az ellipszis kerületi pontjain. A zavaró adót az ellipszisen belül kell telepíteni, ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy egyszeri felhasználású zavaróadó konstrukcióra van szükség, amelyet átlóhetünk, vagy pilóta nélküli repülőről szórhatunk le a meghatározott területre, illetve a pilóta nélküli repülőnek ezen ellipszoid metszetű térrészben kell tartózkodnia.

Ha a másodpercenkénti ugrások számát növeljük, vagyis a benntartózkodási idő csökken, akkor egyre kisebb átfedés jöhet létre a hasznos jel és a zavarjel között, ami addig tolódhat el, hogy adott zavarkésleltetési idő mellett sehol sem lesz olyan pont, még az összekötő egyenesen sem, ahonnan elérhetné a zavarjel a hasznos jelet időben.

Ha az ugrások száma csökken, vagyis azonos jel-szünet arányt tartva nő az elemi adásidő, akkor az ellipszis egyre nagyobb, egyre hatékonyabb a zavarás már nagyobb távolságból is.

Ha valamilyen konstrukciós korszerűsítés folytán a zavarkésleltetési időt csökkenteni tudjuk, akkor szintén nő az ellipszis mérete.

Konkrét paraméterek ismeretében meghatározható a lefogási ellipszis mérete, vagyis eldönthető, hogy célszerű-e a zavarás, egyszeri zavaró adóval, vagy saját területéről kell megoldani, vagy akár hatástalansága miatt felesleges.

A lassú frekvenciaugratásos rendszerek zavarása

Ha az 5 ms benntartózkodási időből indulunk ki, láthatjuk, hogy az $5 \text{ ms} \times 300 \text{ km/ms} = 1500 \text{ km}$, vagyis harcászati-hadműveleti léptékben a 10-50 km-es távolságokon fellépő 33-166 μ s futási idők gyakorlatilag elhanyagolhatóak. Szintén jelentéktelen a zavaró adó 100 μ s-os késleltetési ideje is, vagyis megállapíthatjuk, hogy lassú frekvenciaugratású rendszerek esetén a "hagyományos", saját területéről végrehajtott zavarás impulzusról-impulzusra mintegy 95%-os átfedésre képes időben, vagyis csak az energetikai viszonyok befolyásolják a zavar hatékonyságát.

Akkor a probléma miért nem oldható meg ilyen egyszerűen? A frekvenciaugratásos technikát alkalmazó hírendszerek esetén korszerű felderítő és iránymérő technikákkal megoldható a helymeghatározás is, azonban igen nagy gondot okoz, hogy a harctéren várhatóan sok ilyen rendszer fog egyidőben működni. Ezen kisugárzott jelek egymás frekvenciakészletét átlapolják, így gyakorlatilag a vevőnkbe több, különálló rendszer jele fog keveredni, ami az egyértelmű azonosításukat nagyon megnehezíti, akár lehetetlenné is teheti. Elektronikai ellentétekenységi szempontból annál biztonságosabb, védettebb a zavarok ellen a kommunikáció, minél több rendszer üzemel egyidőben. A helyesen megtervezett frekvencia kiosztás alkalmazásával egymásnak sem okoz kölcsönös zavart a nagyszámú üzemelő rádió. A korábbi adástechnikájú rádiók esetében ez pont fordítva volt. Minél több rádió üzemelt egy térségben, annál nagyobb volt a kölcsönös zavartatások, interferenciák kialakulásának valószínűsége. Az elektromágneses kompatibilitást (EMC) térbeli, frekvencia szerinti, időbeli és más elkülönítési módszerekkel igyekeztek biztosítani.

A lehetséges megoldások

A gyors frekvenciaugratású adások lefogására tehát elsősorban az összeköttetés közelébe kijuttatott egyszeri felhasználású zavaró adók és a hatékony lefogás zónájába berepülő pilóta nélküli zavaró repülőgépek jöhetnek szóba. A cél az, hogy minél kisebb késleltetési idejük legyen, minél nagyobb impulzusteljesítményt adjanak le. Az elemi zavarójel adási hossza a hasznos jel hosszánál lehet kisebb, mivel a hasznos jel végére ér csak oda, felesleges hosszban adni akkor, amikor a vevő már áthangol a következő frekvenciára. Ez tovább csökkenti az adó által kisugárzott átlagteljesítményt, ami az energiaellátó rendszer élettartama szempontjából kedvező.

Hogy oldhatjuk meg, hogy adott zavaróadónk nagy valószínűséggel egy adott (általa valahogy kiválasztott) rádiórendszert zavarjon? Igen fontos, hogy ne vigyék el a közelben dolgozó más rádióktól származó impulzusok, mert a zavar hatékonysága rendkívüli mértékben függ attól, hogy milyen kitarótan tudunk az egymást követő hoppokban hibát okozni. Egy módszer lehet a vett jelek térerősség szerinti szelekciója, vagyis például az adott helyen csak egy bizonyos küszöbszintet meghaladó jelekre dolgozni ki a rendszer követő válasz impulzus zavart. Az ettől távolabb dolgozó állomások jelei egy másik zavaró állomáshoz lesznek közelebb, tehát az fog számukra zavarjeleket generálni.

További nem kis problémát jelent az, hogy egy adott területre kijuttatott zavaró adók működés közben egymásra akadhatnak. Egy üzembe lépő rádió jelére a legközelebbi válaszzavaró állomás előállítja az első zavarimpulzust, amelyet újabb zavaró állomások fognak venni, és a terjedési, valamint a késleltetési idejük elteltével ezek a zavarimpulzusok is megjelennek. Gyors frekvenciaugrású rádiók esetén azonban ezeknek már semmi közük nincs az eredeti hasznos jelhez, tehát ennek a jelenségnek a kialakulása nem kívánatos.

A probléma kiküszöböléséhez például a zavarjelek és a valódi hasznos információt hordozó impulzusok modulációs jellemzőinek összehasonlítása nyújthat segítséget. Ha a zavaró impulzusok például egységesen zajmoduláltak, akkor a zavaró állomás késleltetési idején belül azt is el kell dönteni, hogy a vett jel valamilyen szokásos modulációjú, vagy zajjal modulált. Ez az információ engedélyezheti a kisugárzást, vagy tilthatja le azt.

KÖVETKEZTETÉSEK

Megállapíthatjuk tehát, hogy a harcászati-hadműveleti frekvenciaugratású rádiók elektronikai zavarokkal való lefogásának hatékonysága elsősorban az adási periódusok benntartózkodási idejétől és a zavaró állomás válaszkésleltetési idejétől függ. Ez utóbbi paraméter arra ösztönzi a konstruktőröket, hogy minél gyorsabb válaszzavaró berendezéseket fejlesszenek ki.

Az is egyértelműen megállapítható, hogy a lassú hoppingot alkalmazó rendszerek – egyéb feltételek teljesülése esetén – a saját harcrendből is lefoghatók, míg a gyorsak a fentebb leírt módszer szerinti ellipszisen belüli területről. Ez azonban egyrészt a felderítő, helymeghatározó berendezések teljesen új filozófia szerinti felépítését, működését igénylik, másrészt teljesen új zavaróállomás konstrukciót is. A mélységbe kijuttatott gyorsműködésű, impulzusról-impulzusra áthangoló egyszeri felhasználású zavaró berendezések kifejlesztésre várnak, úgy ahogy a kijuttatásukra alkalmas pilóta nélküli zavaró repülőgépek és más robotikai hordozók is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZ. N.: KZO SURVEILLANCE AND RECONNAISSANCE UAV, GERMANY
<http://www.army-technology.com/projects/brevel/> (2006. február 2.)
- [2] SZ. N.: Unmanned Systems - Europe 2004 - Microwave arms sought for Taifun
www.flightinternational.co.uk/FALANDING_182107.htm (2006. február 2.)
- [3] SZ. N.: Hermes-450
http://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/hermes_450/Hermes_450.html (2006. február 2.)
- [4] SZ. N.: Asn-206 Tactical Unmanned Reconnaissance Aerial Vehicle
<http://www.sinodefence.com/airforce/uav/asn206.asp> (2006. február 2.)
- [5] SZ. N.: В Белоруссии успешно испытан БЛА "Мошкарец"
<http://www.armstass.ru/?page=article&aid=19882&cid=%0A%0A25> (2006. február 5.)
- [6] FORIÁN-SZABÓ MÁRTON: Amerika a GPS rendszer új szolgáltatásai mellett érvel
<http://www.gpsmagazin.hu/content/view/300/> (2006. február 5.)
- [7] A. I. PALIJ: Radioelektronnaja borba. Moszkva, Vojennoje Izdatyelsztvo 1989. ISBN 5-203-00176-6 51-54. p.
- [8] Ványa L.: Doktori PhD értekezés. ZMNE Kutató Könyvtár, Budapest.