

**NAGY Dániel**

[nagy.daniel@operculum.hu](mailto:nagy.daniel@operculum.hu)

## VEZETÉK NÉLKÜLI ELOSZTOTT HÁLÓZAT, MINT ZAVARÓ RENDSZER

### *Absztrakt*

*A spektrumszórásos adásmódok zavarása rendkívül nehéz feladat. A rádiókommunikáció és az elektronikai ellentevékenység között zajló folytonos versengésben az ellentevékenység sokszor alulmarad. Új koncepció vált szükségessé az ilyen kommunikáció zavarására. A felügyelet nélküli szenzorhálózatok ma már bevált eszköznek nevezhetők a hadviselésben és a privát szférában egyaránt. Jelen írás annak lehetőségét vizsgálja, hogy egy ilyen harcászati mélységben telepített, sok kis node-ból álló hálózat képes lehet-e adatgyűjtésen túl, aktív zavaró tevékenységet is kifejezni.*

*Jamming spread spectrum transmissions is a very complex task. In the everduring competition between radio communication and electronic countermeasures the latter faces difficulties. New concepts are needed for effective jamming. Unattended ground sensors are well-know and wide-used devices of today's armies. The paper at hand investigates, whether a networks of many small nodes, deployed deep in enemy territory would be capable of effective jamming, over conventional data collection.*

**Kulcsszavak:** UGS, WSN, zavarás ~ UGS, WSN, jamming

## BEVEZETÉS

Napjaink hadszínterén egyre nagyobb szerepet kap a fizikai pusztítással szemben az információ feletti hatalom megszerzése. E tevékenységben kiemelt szerepe van az elektromágneses spektrum feletti uralom megszerzéséért folytatott küzdelemnek, azaz megakadályozni vagy korlátozni az ellenség részéről az elektromágneses spektrum hatékony használatát, és lehetővé tenni annak a saját csapatok általi használhatóságát.[1] E tevékenységek során a rádiókommunikáció, annak zavarása, illetve a zavarás ellen való védekezés kiemelt jelentőségű. A zavarás az elektronikai ellentevékenység témakörébe tartozik, ezen zavarások ellen történő védekezés pedig az elektronikai védelem témakörébe.

Az adatátvitelnek tehát zavarállónak kell lennie, kedvező ha egységnyi adóteljesítménnyel minél nagyobb távolságot tudunk lefedni, illetve katonai alkalmazásokban különösen fontos, hogy lehetőleg nehezen legyen lehallgatható. Elsősorban ezekben célokban jelent nagy előnyt a kiterjesztett (szórt) spektrumú<sup>1</sup> technikák megvalósítása.

A spektrum kiterjesztése vagy szórása egy jel hozzáadásával történik, amelynek sáv szélessége lényegesen nagyobb, mint az információt tartalmazó alapsávi jel sáv szélessége. A szóban forgó jel valójában nem fehérzaj, hanem egy bináris pseudo-random (PR) jelsorozat. A pseudo-random azt jelenti, hogy egy álvéletlenszerűen ismétlődő kódról van szó, amelyet valamilyen módon az adónak és a vevőnek egyaránt ismernie kell. Az adónak azért, hogy a szórt spektrumú jelet előállíthassa a segítségével, a vevőnek pedig természetesen azért, hogy a vett jelből vissza tudja állítani az eredeti információt.

Többféle spektrum szórásos adásmód ismert, amelyek részletezésére nem térünk ki. Ezek közül egyik az ún. frekvencia ugratásos, vagy FHSS<sup>2</sup> adásmód. A frekvencia ugratásos rendszerekben is PR kódot alkalmaznak, azonban nem az alapsávi jelet, hanem a modulátor vivőfrekvenciáját módosítják segítségével. Ilyenformán az átvitelre kerülő jel különböző időpontokban különböző frekvenciákon kerül átvitelre. Bár a PR kód szempontjából így bármilyen széles sáv lefedhető lenne, a rádió frekvenciás átvitel adta korlátok miatt (antenna, egyéb frekvencia-függő elemek) ez nem igaz. Az létrejövő sáv szélesség is véges természetesen, formáját az 1. ábra mutatja.



1. ábra Egy FHSS jel spektrum képe.[2]

Azt, hogy egy adott frekvencián mennyi ideig marad az adás, a tartási idő<sup>3</sup> határozza meg, amely a PR kód frekvenciájának a reciproka. Az FHSS tehát az elérhető sáv szélességet  $N$  részre osztja és ezen  $N$  frekvencián ugrál a kód által meghatározott szekvencia szerint. Ez az adásmód többek között azért különösen értékes a hadviselésben, mert mivel az adó csak rövid ideig marad egy frekvencián, igen nagymértékben megnehezíti a szembenálló fél zavarótevékenységét illetve a rádióadó felderíthetőségét egyaránt.

A frekvencia ugratásos rádiózás tehát az elektronikai ellentevékenység elleni védelem témaköréhez kapcsolódik, hiszen nehezíti a kommunikáció zavarását. Másrészt a zavaróadók tipikusan nagy adóteljesítményük miatt könnyen felderíthetők, illetve ugyanezen okból

<sup>1</sup> Az angol spread spectrum „elterített” spektrumot jelent

<sup>2</sup> FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum

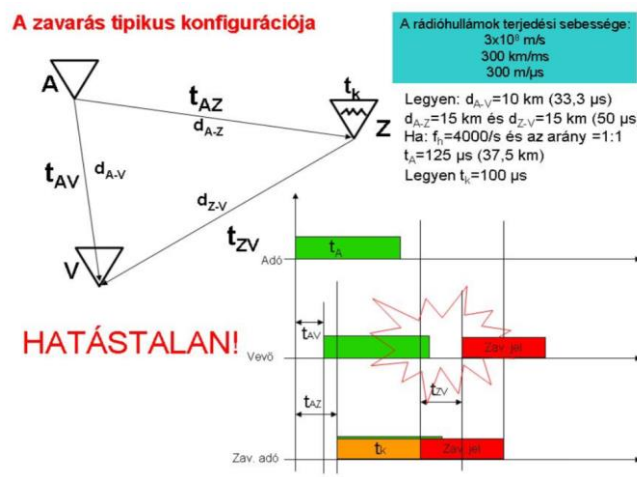
<sup>3</sup> angolul „dwell time”

bizonyos helyzetekben a saját erők kommunikációját is korlátozzák. Mivel a lentebb bemutatott koncepció úgy képes zavart kifejezni a szembenálló fél kommunikációjában, hogy sokkal kisebb a zavaróadó felderíthetősége, illetve sokkal kisebb mértékben és eséllyel zavarja a saját erők kommunikációját, ezért az elektronikai védelem elektromágneses kisugárzások korlátozása területéhez is kapcsolódik.

Jelen cikk annak lehetőségét vizsgálja, hogy lehetséges-e egy szenzorhálózatot, mint zavaró rendszert használni. A kérdés nagyon összetett, így most csak energetikai oldalról közelítem meg. Nyilvánvaló, hogy egy szenzor akkumulátora nem képes magában akkora energiát tárolni, ami egy hagyományos zavaróadó teljesítményével összevethető lenne, illetve azt a szükséges időtartamon keresztül képes lenne fenntartani. A távolság csökkenésével azonban a szükséges zavarteljesítmény drasztikusan csökken. Jelen cikk egy nagyvonalú számításokkal megtámogatott gondolat kísérlet arra vonatkozóan, hogy ennek mekkora a reális lehetősége, figyelembe véve a közelmúlt és a jövő technikai fejlődési trendjeit.

## A TÁVOLSÁG HATÁSA A ZAVARÁSRA

A spektrumszórásos adásmódok kifejlődése igen megnehezítették a rádiókommunikáció hatékony zavarását.[3] A hatékony zavaráshoz először meg kell állapítani az adó által használt frekvenciát, erre ráhangolni a zavaró berendezést, majd kisugározni a zavarójelet. A probléma a frekvencia ugratásos rádióknál az, hogy az adó másodpercenként akár ezernél többször is frekvenciát válthat. Ahhoz tehát, hogy a zavarás hatásos legyen a zavaró jel bemérése, és a zavar indítása gyorsan kell hogy történjen, olyan gyorsan, hogy az a vevőt érdemben zavarni legyen képes. A kérdés tehát időbeliségről szól, ám ez nem csak a zavaró berendezés működésére vonatkozik. Mivel az elektromágneses hullám véges sebességgel terjed, elképzelhető olyan geometriai elhelyezkedése az adó-vevő-zavaró háromszögnek, amelyben még ideális (nulla reakcióidejű) zavaró berendezéssel sem érünk célt. Lehet bármilyen gyors és nagy teljesítményű a zavaró adó, ha egyszerűen nem ér a vevőhöz időben a zavarjel (2. ábra).



Minél gyorsabb a frekvenciaváltások üteme, annál közelebb kell lennie a zavarónak a vevőhöz a sikeres zavarás érdekében. A zavarás immáron nem csupán a frekvencia és a teljesítmény kérdése, hanem a rádióhullám véges terjedési sebességén keresztül annak is függvénye, hogy milyen messze van a vevő a zavarótól. A következtetés tehát az, hogy sikeres zavarás érdekében a zavaró állomást közelebb kell vinni a vevőhöz.

A szenzorhálózatokat (WSN<sup>4</sup>), azon belül is a felügyelet nélküli, földi telepítésű rendszereket (UGS<sup>5</sup>) a hadsereg leginkább a területfigyelő, behatolásérzékelő feladatokra használja, hiszen ezzel élőerős járőrözést spórolhat meg. A jelen rendszerei tipikusan cipős doboz, cigarettásdobozoz méretűek, kézzel kerülnek telepítésre, amely szenzorok aztán egymással WSN-t képeznek, amit egy speciális egységen, az átjárón vagy akár az Iridium műholdas távközlési rendszeren<sup>6</sup> keresztül lehet elérni. Működés módjukra jellemző, hogy minimális energia kibocsátással igyekeznek a környezetből tipikusan szeizmikus, képi és rádiófrekvenciás információkat gyűjteni, és azt az átjárón keresztül a rendszer üzemeltetőjéhez továbbítani.

## AZ UGS-EK JÖVŐJE

Ha valaminek a megvalósítási lehetőségéről, esetünkben a zavarásra képes elosztott hálózatról elmélkedünk, alapul a jövőt és nem a jelent kell vennünk. Különösen igaz ez olyan területeken, ahol a modern technikának, mint a félvezetőgyártás és a nanotechnika nagy a jelentősége. A sokat emlegetett Moore-törvény<sup>7</sup>, ha nem is használható az informatika minden területére, igen jól leírja ezen ágazat fejlődésének exponenciális jellegét.

Ma a valóságban a katonai szenzor node-ok<sup>8</sup> ritkán kisebbek ököl méretűnél, a szenzorhálózat néhányszor tíz eszközt foglal magába, és bár a hadsereg mércéjével nem drága berendezések ezek, nem is elhanyagolható az áruk. De mit várhatunk tíz év távlatában? Ha az eddigi exponenciális fejlődés folytatódik, a SmartDust-jellegű<sup>9</sup> koncepciók[4] nem csak hogy kiforrott technikaként általánosan elérhetővé válnak, hanem a jelenleginél még kisebbek is lehetnek, és ami a legfontosabb: az áruk nagymértékben csökkenhet. Egy definíció szerint a szenzorhálózat akkor tudja valódi potenciálját megmutatni, ha az „SOK”: sok, olcsó, kicsi. A belátható jövőben a mai szenzorok képességeit meghaladó node-ok képzelhetők el, néhányszor tíz köbmilliméter térfogatban és olyan olcsó gyártási költséggel, amely ezen eszközök valódi, kiszórásos telepítését tenné lehetővé.

Ha UGS-ekről beszélünk, gondolatunk kissé a jövőbe irányítva elszakadhatunk a ma, tipikusan gyalogság által kihelyezett, néhányszor tíz darab node-ból álló szenzorhálózat képétől, és láthatjuk azt, amikor valóban pilóta nélküli repülőgépek szórnak ki, száz, akár ezerszám UGS-eket egy néhány négyzetkilométeres célterületre. Tehetjük mindezt azért, mert a félvezetőgyártás és a nanotechnológia fejlődése ezt a képet vetíti előre.

Az UGS azonban nem csak félvezetőkből áll, hanem az ahhoz szükséges energiaforrásból is. A jelenben ez tipikusan kémiai alapon működő energiaforrás (akkumulátor), amely egyes esetekben napelemmel támogatott. Ez azért sarkalatos pont, mert bár a félvezetőipar exponenciális fejlődést mutat, ez messze nem mondható el az akkumulátorok fejlődéséről. [5]

---

<sup>4</sup>WSN Wireless Sensor Network - Vezeték-nélküli Szenzorhálózat.

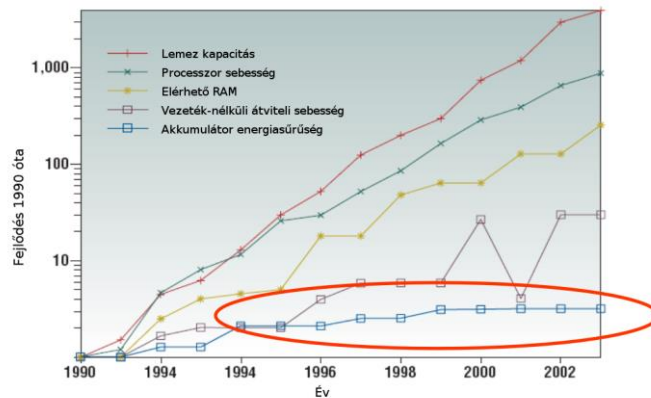
<sup>5</sup>UGS Unattended Gound Sensors.

<sup>6</sup>A Northrop Grumman Corporation által fejlesztett Scorpion II rendszer képes erre.

<sup>7</sup>Moore törvény: Az integrált áramkörök összetettsége megközelítőleg 18 havonta megkétszereződik.

<sup>8</sup>node: A szenzorhálózat egy csomópontja. Nevezik még motenak is.

<sup>9</sup>SmartDust: Milliméter nagyságrendbe eső WSN node.



3. ábra Az akkumulátorok lassabban fejlődnek, mint az integrált áramkörök[5]

Azt sem lehet mondani, hogy ne lenne piaci hajtóerő. Minden eddiginél nagyobb szükség van nagy energiasűrűségű akkumulátorokra, a mobiltelefonokba, a tabletekbe, hibrid vagy tisztán elektromos járművekbe és még sorolhatnánk. Egyszerűen nem kerülnek elő olyan vívmányok az energiatárolásban, amelyek a félvezetőiparban látható bámulatot száguldáshoz hasonlatosat produkálnának. Az ipar ezt a problémát úgy kezeli, hogy az okosodó, egyre kisebb energiát igénylő berendezéseknek olyan fejlett energia-menedzsment rendszerük van, amely azt a kényszerűen kevés energiát optimálisan használja ki, így a felhasználó szemszögéből az üzemidő elfogadható szinten tartható. Olyan alkalmazásokban azonban, ahol erre nincs lehetőség, mert a nyers teljesítmény számít, mint például az elektromos járművek esetében, a problémák látványosabbak. Ilyen a rádióeszközök zavarása is, hiszen lehet bármilyen fejlett és gyors a rendszerünk, hangolódhat bármilyen gyorsan és nagyon pontosan a kívánt frekvenciára, ha nincs elegendően nagy kisugárzott zavarteljesítmény, vagyis a zavaróadó a vevőben nem képes a kellő zavarjel/hasznos jel teljesítményviszonyt elérni, akkor a zavar nem fejt ki a kívánt hatást.

Az akkumulátorok tehát nagyon lassan fejlődnek a félvezetőkhez viszonyítva. Az elmúlt évtizedek újabb és újabb típusokat hívtak életre (ólomsavas -> nikkel-alapú -> lítium-alapú), de a fejlődés laposan lineáris jellegén ez nem tudott változtatni. Az üzemanyagcella ígéretes fejlesztés, de jelenleg miniatűr kivitelben energia sűrűsége elmarad a lítium-alapú akkumulátortól [6], egyetlen előnye jelenlegi állapotában a nagyon gyors újratölthetőség, ami UGS környezetben jelentéktelen.

Összegezve tehát elmondható, hogy a félvezetőipar fejlődése, a jelenhez képest sokkal kisebb méretű és nagyobb teljesítményű UGS-eket ígér, amiket akár alacsony költséggel száz-ezer szám is be lehet vetni. Ott azonban ahol jelentős energia kapacitásra van szükség - mint a zavarás esetében - az akkumulátorok lassabb fejlődése miatt a jövőképek konzervatívabbnak kell lennie.

## A WOLFPACK

Az elosztott zavaró rendszer koncepciójának életképességét mi sem bizonyítja jobban, hogy legalább egy ilyen fejlesztést már láthattunk az Egyesült Államok hadrendjében. A projektről nemigen tudni többet annál, mint amit a projekt vezetője Dr. Paul Kolodzy 2000-ben bemutatott és elmondott.[7][8] A Wolfpack nagyobb méretű, egymással kommunikálni képes UGS-ekből áll össze. Tömegük 2,5 kg, 15 cm átmérőjű hengerek [9]. Az egyes node-ok felkutatók a rádiófrekvenciás kisugárzásokat, mások pedig zavarjellel válaszolnak a 20 MHz - 2,5 GHz tartományban. Ez a farka-jellegű működés adta az ötletet az elnevezéshez is (Wolfpack = farkas farka). Az elvárt üzemidő hatvan nap alvó módban, tíz nap figyelő üzemmódban, és 10 óra zavaró üzemmódban.[10] Teljesítményük maximálisan 40 W, ám a megcélzott 10 órás zavaró

módhoz 2 W átlagos zavarteljesítmény tartozik. A működésmódból adódó további óriási előnye, hogy precíz szelektív zavarásra képes azáltal, hogy az ellenség területén, közel a hírközpontokhoz telepítik, így annak az esélye, hogy saját erőket véletlenül zavarnánk, minimális. A rendszer elkészültét 2004-re tervezték, 2005-ben olvashattunk csapatpróbáról [11]. Azóta a projektről publikusan elérhető információt az interneten nem tettek közzé.

A Wolfpack annak ellenére, hogy feltehetően egy lefűjt projektként végezte, vizsgálódásainkhoz több érdekes információt is szolgáltatott. Az egyik ilyen, hogy a koncepció életképes, valóban van értelme az UGS-ekre nem csak adatgyűjtőként és megfigyelőként, hanem aktív ellentevékenységet, azaz rádiózavart kiváltó eszközökre gondolni. A másik fontos információ a néhány 2-10 W teljesítmény tartományba eső adat említése. Ez az adóteljesítmény elképzelhető egy kisméretű node esetében. Az persze igaz, hogy az is kérdés, mennyi ideig képes a node ezzel a teljesítménnyel zavarni, illetve az is érezhető, hogy a fentebb vázolt miniatűr node esetében nehéz elképzelni ekkora teljesítményt, elsősorban a csatolható akkumulátor méretei miatt. A miniatűr, SOK-jellegű node-nak azonban jó esélye van még a Wolfpack esetében körvonalazott egy kilométernél is közelebb kerülni a zavarni kívánt vevőhöz, ami drasztikusan csökkenteni fogja a szükséges teljesítményt.

A zavarni kívánt vevő közelébe helyezett zavaró ötlete nem új. Ezek korábban ún. egyszeri felhasználású, nem hálózatban, hanem teljesen izoláltan működő zavaró berendezések voltak, a világ több hadseregében, köztük a Varsói Szerződés hadseregeiben is rendszeresítve. Repülőgépről, helikopterről vagy akár tüzérségi átlövélssel lehetett őket kijuttatni, amelyek a földet érést követően egy inerciakapcsoló hatására automatikusan megkezdték zavarótevékenységüket, és fenntartották ameddig a beépített akkumulátor ezt lehetővé tette. Harctéri hasznuk megkérdőjelezhető, hiszen zavaró hatásuk úgy, mint működésük esetleges volt. Továbbá a parancsnok sem az eszköz üzeméről, sem annak hatásáról nem kaphatott információt. [12]

## SZÁMÍTÁSOK

Alább tehát arra vonatkozóan végzek egy számítást, hogy mekkora teljesítményre van szükség egy, a vevőhöz közel elhelyezkedő zavaró node esetében, egy hagyományos, itt referencia zavarónak nevezett állomáshoz képest. A lejjebb felhasznált képlet, illetve a szórt spektrumú adásmód zavarásának részletes leírását a hivatkozott anyagban olvasható [3], így ennek részletekbe menő ismertetését mellőzöm.

Amit meg kívánok határozni tehát, az a  $P_{zminnode}/P_{zminref}$  viszony, különböző helyzetekben, ahol

$P_{zminref}$  - a referencia adó teljesítménye

$P_{zminnode}$  - a zavaró node adó teljesítménye.

A forrásanyag képlete szerint a szükséges minimális teljesítményt az alábbi módon írhatjuk le:

$$P_{zmin} = K_{zmin} \frac{P_j * G_j * D_z^2 * \Delta f_z}{G_z * D_j^2 * \Delta f_v * \delta_z} \quad (1.)$$

ahol:

$P_{zmin}$  a hatékony zavaráshoz szükséges minimális teljesítmény

$K_{zmin}$  a lefogási tényező

$P_j$  a lefogandó összeköttetésben dolgozó adó teljesítménye

$G_j$  a lefogandó összeköttetésben dolgozó adóantenna nyeresége a vevőkészülék irányában

$G_z$	a zavaró állomás antennájának nyeresége a vevőkészülék irányában
$D_z$	a zavaró és a vevő közötti távolság
$D_j$	a lefogandó összeköttetésben dolgozó adó és vevő közötti távolság
$\Delta f_z$	a zavarjel sáv szélessége
$\Delta f_v$	a vevőkészülék vételi sáv szélessége
$\delta_z$	a polarizációs egyeztetési tényező

Célom annak vizsgálata, hogy a referencia adó illetve a zavaró node teljesítményviszonya hogyan alakul, így az egyenlet jobb oldalán is dimenzió nélküli viszonzszámokat kell szerepeltetnem, az alábbiak szerint:

$K_{zmin} = 1$	(azonos)
$P_j = 1$	(azonos)
$G_j = 1$	(azonos)
$G_z$	(más az antenna, ez változhat)
$D_z$	(ez kisebb)
$D_j = 1$	(nem változik)
$\Delta f_z = 1$	(nem változik)
$\Delta f_v = 1$	(nem változik)
$\delta_z$	(változhat)

Tehát amennyiben  $P_{zminnode}/P_{zminref}$  viszonyra vagyunk kíváncsiak, a fenti megkötésekkel az alábbi egyenletet kapjuk:

$$P = \frac{D^2}{G * \delta} \quad (2.)$$

Ahol:

$P$  - a referenciaként vett zavaró és a vizsgált zavaró node teljesítményviszonya,  $P_{zminnode}/P_{zminref}$  alakban

$D$  - a referenciaként vett zavaró és a vizsgált zavaró node távolságviszonya  $D_{node}/D_{ref}$  alakban

$G$  - a referenciaként vett zavaró és a vizsgált zavaró node antennanyereségének viszonya  $G_{node}/G_{ref}$  alakban

$\delta$  - a referenciaként vett zavaró és a vizsgált zavaró node polarizációs egyeztetési tényezőinek viszonya,  $\delta_{node}/\delta_{ref}$  alakban.

A képletet szemügyre véve azt az intuíciónkat megerősítő helyzetet látjuk, mely szerint a node és a referencia zavaró teljesítmény-viszonya a távolság-csökkenéssel négyzetesen, az antenna irányítottságával és más tulajdonságaival pedig fordítottan arányos.

Mielőtt továbblépünk végeredményhez, a képletben szereplő viszonzszámokkal kapcsolatban fontos néhány dolog kiemelni.

A zavaró node antennája egészen biztosan messze elmarad műszaki paramétereiben a referencia zavaróhoz képest. Mérete kényszerűen kicsi, jó eséllyel nem lehet hullámhosszhoz megfelelően méretezni. Irányítottságról sem beszélhetünk, így valószínűsíthető, hogy az antenna nyereség viszony egynél sokkal kisebb szám. Hasonló a helyzet a polarizációs egyeztetési tényezővel. Mivel a node-ok kihelyezése kaotikus, az antenna polarizáltság is esetleges lesz, ami összességében jó eséllyel fog egynél kisebb értékű polarizációs egyeztetési viszonyt eredményezni.

Van még egy harmadik tényező is, amely a kiindulásként használt képletben sem lett tekintetbe véve, így az összehasonlításban sem tükröződik. Az eszközök térben elfoglalt helyét csak a távolság jellemezte, így nem lettek tekintetbe véve pl. domborzati viszonyok, ilyenformán a zavaró adó felszín feletti magassága sem. Mindez azért fontos, mert vizsgálódásunk alapja a referencia zavaró és a zavaró node viszonyának feltérképezése. Így ki kell jelenteni, hogy a teljesítmény, az antennanyereségek és a polarizációs egyeztetési tényezők

kívül, esetünkben a zavaró felszín feletti magassága is egy fontos paraméter. A referencia zavaró antennája ugyanis minden bizonnyal magasban, pl. árbocon helyezkedik el, a zavaró node azonban igen nagy valószínűséggel a felszín közvetlen közelébe kerül.

A fent említett három tulajdonság igen nagymértékben befolyásolhatja a végeredményt, alább azonban ezt is egynek fogjuk feltételezni. Tesszük ezt azért, mert az antenna kialakítás, illetve a node elhelyezkedése gyakorlati kérdés, mi pedig ebben a lépésben arra keressük a választ, hogy elméletileg lehetséges-e a zavaró node koncepciója.

Tekintsünk tehát egy konkrét helyzetet. A referencia zavarónk 1 kW teljesítményű és a 10 km távolságban lévő vevőt zavarja sikerrel. Milyen közel kell kerülnie egy zavaró node-nak a vevőhöz ahhoz, hogy egyenértékű zavarást legyen képes kifejteni? Ennek megválaszolására vagy a node és a vevő távolságot vagy a node zavarteljesítményét rögzítenünk kell. Rögzítsük a távolságot, és induljunk ki egy feltételezésből. A kitelepített UGS-eink megfelelnek a SOK kritériumnak, tehát sokan vannak, mert olcsók és kicsik. Tételezzük fel, hogy egy négyzetkilométerre pártíz darab kerül, eloszlásuk nagyjából egyenletes, azaz vegyük alapul, hogy a négyzetkilométer szelvényen belül minden pontra igaz az, hogy 200 m-en belül van legalább egy zavaró node.

Ahhoz, hogy a 200 m távolságból a 10 km távolságban lévő referencia zavaróval egyenértékű hatású zavart fejtsünk ki

$$P = \left( \frac{200m}{10000m} \right)^2 \quad (3)$$

0,0004-es teljesítményviszony számolható, azaz 200 m távolságból egy 400 mW teljesítményű adó is elegendő.

Lehetséges ekkora teljesítmény egy szenzor node lehetőségeit tekintve? Ehhez a kérdéshez további paramétereket kellene megvizsgáljunk, elsősorban azt, hogy konkrétan mekkora és hogyan működik a feltételezett miniatűr node, de ez a kicsi adóteljesítmény egészen kis áramkörökkel is megvalósítható, ez bizonyos.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A felvázolt gondolat kísérlet eredménye nem teljesen egyértelmű. Egyfelől a távolság és a szükséges adóteljesítmény négyzetes összefüggése miatt hatalmas nyereség származik abból a tényből, hogy egy megfelelően kicsi UGS potenciálisan egy zavarandó vevőberendezés közelében helyezkedjen el. Ahogyan a fenti számítás mutatja, csak ezt tekintve egy 200 m-re a vevőtől elhelyezkedő 400 mW teljesítményű zavaró node, egy 10 km-re lévő 1 kW-os zavaróadóval megegyező hatású zavarásra lenne képes, ami bizakodásra okot adó adat.

Másfelől azonban igen nagyvonalúan ebben a számításban a referencia zavaró és a zavaró node kisugárzással kapcsolatos jellemzőit (antenna nyereség, pozíció, polarizáció) egyenlőnek vettük, és bár igaz, hogy ezen jellemzők csak azok viszonyával egyenesen arányosan rontják a végeredményt, itt még is akár (sőt valószínűen) nagyságrendi különbségek is előállhatnak.

Fontos paraméter ebben a kérdésben a rendelkezésre álló akkumulátorok energiasűrűsége. A néhány száz mW - néhány W tartomány két véglete, nagy különbséget jelenthet a megvalósítást tekintve, ahogyan az elvárt üzemidő is, hiszen mindezt korlátozni fogja a felhasznált akkumulátor tulajdonságai. Nagyon fontos kiemelni, hogy a node-ok fényes jövő előtt állnak, a félvezetőipar exponenciális jellegű fejlődése miatt, ez messze nem mondható el az akkumulátorok fejlődéséről. Új technológiák már léteznek - mint például az energiacella -, ám ezek miniatűr prototípusai a ma bevált akkumulátorok energiasűrűségétől egyelőre elmarad.



A bevezetőben felvetett kérdésekre tehát, a fenti rövid és szigorúan elméleti síkú elemzést követően a következők lehet válaszolni: Nagy mennyiségű, miniatűr UGS-sel műveleti mélységben kifejtett hatásos zavarótevékenység megvalósítása elméletileg nem lehetetlen. További kutatások szükségesek azonban elsősorban abban az irányban, hogy miniatűr node-ok antennanyeresége is kisugárzási tulajdonságai milyen viszonyban állnak egy telepített, nagyméretű, irányított antennához képest.

## Felhasznált irodalom

- [1] Haig Zs., Kovács L., Ványa L., Vass S.: Elektronikai hadviselés . Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Budapest, 2014. ISBN 978-615-5305.87-0
- [2] Szerző nélkül: Spread Spectrum Scene. [Online] <http://www.sss-mag.com/ssttopics.html> 2015.06.07.
- [3] Ványa, L.: Zavaró robotok elméletben és a gyakorlatban. Hadmérnök Különszám [online] [http://www.hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles6/vanya2\\_rw6.html](http://www.hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles6/vanya2_rw6.html) (2007) 2015.05.28.
- [4] Pister, K.S.: Smart Dust: BAA97-43 Proposal Abstract. UC Berkeley
- [5] Cottone, F.: Introduction to Vibration Energy Harvesting. Marie Curie Research Fellow ESIEE Paris–University of ParisEst, [online] <http://www.nipslab.org/files/file/nips%20summer%20school%202011/Cottone%20Introduction%20to%20vibration%20harvesting.pdf> (2011). 2015.05.28.
- [6] Szerző nélkül: BU-210a: The Miniature Fuel Cell. Battery University [Online] [http://batteryuniversity.com/learn/article/the\\_miniature\\_fuel\\_cell](http://batteryuniversity.com/learn/article/the_miniature_fuel_cell) 2015.05.10.
- [7] Dr. Kolodzy, P.: Introducing Wolfpack. [Online] [http://archive.darpa.mil/DARPAtech2000/Presentations/ato\\_pdf/speeches/Kolodzy.pdf](http://archive.darpa.mil/DARPAtech2000/Presentations/ato_pdf/speeches/Kolodzy.pdf) 2015.05.10.
- [8] Dr. Kolodzy, P.: WolfPack. DARPA , [online] [http://archive.darpa.mil/DARPAtech2000/Presentations/ato\\_pdf/2KolodzyWolfPackB&W.pdf](http://archive.darpa.mil/DARPAtech2000/Presentations/ato_pdf/2KolodzyWolfPackB&W.pdf) (2000). 2015.05.10.
- [9] Ványa, L.: WolfPack - zavaró robotok a digitális hadszíntéren. Bolyai szemle 15:(1) pp. 74-86. (2006)
- [10] Kenyon, H.S.: WolfPack Hunts Down Enemy Emitters. Signal [Online] <http://www.afcea.org/content/?q=wolfpack-hunts-down-enemy-emitters> 2015.05.25.
- [11] Szerző nélkül: BAE Systems demonstrates Wolfpack radar jammers. Military and Aerospace [Online] <http://www.militaryaerospace.com/articles/2005/04/bae-systems-demonstrates-wolfpack-radar-jammers.html> 2015.05.25.
- [12] Ványa L.: Az elektronikai hadviselés eszközeinek, rendszereinek és vezetésének korszerűsítése az új kihívások tükrében, különös tekintettel az elektronikai ellentévékenységre. Doktori PhD értekezés. ZMNE Kutató Könyvtár, Budapest 2001. (76.o.)