

Gulyás Attila<sup>1</sup>

## RÁDIÓ ALAPÚ HARCÁSZATI AZONOSÍTÁS<sup>2</sup>

*Az információs hadviselés alkalmazásának egyre növekvő követelményszintje igényt tart - a műveleti helyzetkép értékelése, feldolgozása céljából – harctéri azonosító rendszerek üzemeltetésére, a lehető legmagasabb integráltsági fok mellett. Korunk hadszínterein jelenleg alkalmazott harctéri azonosító rendszerek többnyire önálló platformként üzemelnek, a meglévő harcászati rádióterminálok technikai képességei - az azonosító jelso-rozatok tekintetében - mindezülig kihasználatlanok. A probléma feloldására vannak lehetőségek; e tudományos közleményben egy lehetséges megoldást mutatok be.*

### **RADIO BASED COMBAT IDENTIFICATION**

*The demand-level of the applications in the Information Operations (IO) regarding to the situational awareness data exchanging rely on the full operational capability of identifications systems with the higher level of system integrity. Today-used identifications' systems operate mostly as standalone platforms in the integrated communications and information or intelligence systems so the capability of combat net radios might be unutilized at this moment. To solve the problem engineers have possibilities so my scientific essay provides a feasible result.*

## BEVEZETŐ

A jelenkor háborúit már nem elsősorban nemzetek vívják nemzetek ellen. A terrorizmus, a lát-hatatlan ellenség bárhol megjelenhet, a megfelelő szintű védekezés, a felkészülés az előre vár-ható, de nem kalkulálható helyen és időben bekövetkező behatásokra létfontosságú lehet. Az aszimmetrikus hadviselés korában előtérbe kerülnek a szövetséges nemzetek közös műveletei, összehangolt támadó és védelmi harctevékenységek, amelyek magas szinten integrált elektroni-kai háttérrel kerülnek támogatásra, felhasználva a modern, digitális éra informatikai vívmányait. A jelenkor parancsnoki vezetési rendszere alapvetően digitális, processzorvezérelt híradó esz-közöket alkalmaz a szóbeli és az írott parancsnok, utasítások továbbítására. Előtérbe kerülnek a rövid időintervallum alatt nagy mennyiségű adatátvitelre képes kommunikációs adatcsatornák, a koalíciós partnerek megnövekedett felhasználási igényének megfelelően. A közelmúlt történel-mi példái szolgáltatnak alapokat a harctéri azonosító rendszerek alkalmazásával szemben tá-masztott követelmények meghatározásának fontosságához. Az I. Öbölháborúban tapasztalt nagyarányú szövetséges veszteség aránya kiemeli a jelentőségét az olyan – szélsőséges info-kommunikációs és időjárás körülmények között is üzemképes – azonosító rendszerek alkalma-zásának, amellyel elkerülhetőek vagy mértékében csökkenthetőek az úgynevezett „baráti tűz” (friendly fire) cselekményei [1]. Ezen rendszer üzemeltetése hozzájárul a műveleti helyzetkép (situational awareness) megjelenítésének és feldolgozásának fejlesztéséhez is.

<sup>1</sup> PhD hallgató, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Nemzeti Közszolgá-lati Egyetem, mailto: attila.gulyas@mil.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Haig Zsolt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, haig.zsolt@uni-nke.hu

A nemzetközi alkalmazásokban már a koalíciós műveletek kezdetén a figyelem középpontjába került a harctéri azonosítás kérdésköre. Az Amerikai Egyesült Államok (USA) szárazföldi erői (US ARMY) a partnernemzetekkel (elsősorban Nagy-Britannia, Kanada) végrehajtott iraki műveleti folyamán – az 1995 év folyamán – sikerrel fejlesztett ki és alkalmazott egy, a milliméteres hullámhossztartományban (38 GHz) üzemeltetett, a minősített adatkapcsolatot (kérdő és válaszipulzusok cseréjét) lehetővé tevő azonosító rendszert (Battlefield Combat Identification System BCIS) [2][3]. A rendszer továbbfejlesztése és alkalmazása az ezredfordulóig töretlenül folytatódott<sup>3</sup>.

További fejlesztések történtek a gyalogos katonák azonosítására (Combat Identification Dismounted Soldier CIDDS) [4]. Az azonosítás elve megegyezik a korábban ismertetett rendszer elvével, azaz a harcjárművet elhagyó és a terepen önállóan (szakasz-század kötelékben) harcfeladatot végrehajtó katona fegyverére erősített technikai eszköz kérdező impulzusokat bocsát ki, amelyeket a szövetséges katona szenzorrendszere (pl. sisak-lézerérzékelő és válaszadó egység) azonosít, mint baráti, szövetséges jelsorozatot és válaszjelet sugároz vissza a küldő terminálnak. A rendszer technikai (hardver) elemei a lézerek frekvencia tartományában küldik és fogadják kérdező és válaszjel impulzussorozataikat. Az adatcsatorna zavarvédelme érdekében időosztásos többszörös hozzáférés kerül alkalmazásra. Az azonosító rendszer megbízható működése a kérdező termináltól számított legfeljebb 1100 m távolságra üzemelő válaszadó esetén biztosítható<sup>4</sup>.

Megállapítható tehát, hogy a hadszíntéren folyamatosan jelen lévő légi- és földi célpontok figyelemmel követése, a szövetséges erők légi- és harcjárműveinek egyértelmű harctéri azonosítása, a teljes körű műveleti helyzetkép kialakítása<sup>5</sup> és megjelenítése tehát kiemelt fontosságú feladat.

A NATO híradó és informatikai szakbizottságai, albizottságai és munkacsoportjai hosszú idő óta próbálkoznak összeállítani egy olyan harctéri azonosító rendszer jelsorozatának alapparamétereit és rendszerkövetelményeit, amelyek lehetővé teszik a harctéren, a műveleti területen tevékenykedő harcjárművek és akár az egyes harcosok egyértelmű azonosítását [5].

A NATO műszaki munkacsoportjaiban, szakbizottságaiban napjainkban fejlesztett és alkalmazott föld-föld, valamint föld-levegő-föld (IFF<sup>6</sup>) azonosító rendszerek fejlesztése olyan szintre érkezett, amely lehetővé teszi a harcmezőn szolgálati feladatukat végző harcjárművek azonosítására szolgáló adatkapcsolati rendszerek rendszerparamétereinek a (csekély számban) érvényben lévő NATO szabványok (STANAG) szerinti működését. Az alkalmazott adatátviteli protokollok tanulmányozása és feldolgozása mélyreható alapokat biztosít az alkalmazotti, valamint az innovációs kutatások megalapozására és tervezésére.

---

<sup>3</sup> Az azonosító rendszer elsősorban az US ARMY harckocsizó (páncélos) egységeinek, alegységeinek harcjárműveire (M1A1 Abrams és M2 ODS Bradley) kerültek kialakításra. 2001-ben a BCIS technikai eszközeinek továbbfejlesztett változatát a NATO Szabványosítási Hivatal (NATO Standardization Agency NSA) is elfogadta és STANAG 4579 számon hitelesítette (STANAG 4579 for Battlefield Target Identification Device BTID).

<sup>4</sup> Az alkalmazott lézersugár frekvenciája úgy kerül kialakításra, hogy – esetlegesen – az emberi szembe kerülve nem okozhat maradandó károsodást.

<sup>5</sup> Műveleti helyzetkép – Situation Awareness SA

<sup>6</sup> IFF – Identification from Friend to Foe

## ÁLTALÁNOS CÉLOK

Az azonosító rendszerek összeállítása esetén – az interoperabilitás megteremtése érdekében – fő cél a szabványosítás. A jelenlegi, elfogadott rendszer az amerikai SINCGARS<sup>7</sup> rendszerre és a vonatkozó amerikai szabványra épül, melynek bemutatása nem képezi e kutatás témaköreit. A SINCGARS – alapvetően a nyugati szakmai frekvencia felosztás szerint – a VHF frekvenciatartományt alkalmazza (30–87,975 MHz) [6]. Hazánkban ez megfelel az ultrarövid-hullámú<sup>8</sup> tartománynak. Korunk fejlett képességű szoftvervezérelt rádiói, mint szélessávú rádióterminálok lehetővé teszik az (amerikai frekvencia felosztás szerint) ultrarövid-hullámú tartományba tartozó más frekvenciasávok (pl. UHF: 225–512 MHz) és modulációs módok alkalmazását is. A NATO nemzetek és a különböző NATO munkacsoportok – elsősorban a saját nemzeti kereskedelmi vállalkozásaik nyomására – kialakítanak megoldásokat rövidebb távra, azonban végcél egy hosszú távon is üzemeltetésre alkalmas szabványosított jelsorozat összeállítása, egy olyan azonosító rendszer alkalmazása, amely alkalmas a mai kor szoftvervezérelt rádióinak felhasználására az azonosító jelek feldolgozására, növelve a rádióterminálok katonai képesség-kapacitását és a „baráti tűz”<sup>9</sup> lehetőségének minimalizálását.

A leegyszerűsített azonosítási folyamat két fázisa, a kérdező bitsorozat kibocsátása, valamint a válaszjel-sorozat észlelése/fogadása és feldolgozása. A vezető (kérdező) állomás küld egy kérdező jelsorozatot a kérdező (interrogátor) pusztítási/műveleti körzetében (CDA<sup>10</sup> 1–10 km) a kijelölt (pusztítandó) műveleti területen tartózkodó, potenciális célpontoknak (harcjárművek). Az interrogátor számára fontos információk:

- az adott harcjármű pontos geográfiai helyzete és fő paraméterei (azonosító neve/száma);
- egyéb információk (személyzet, feladat, műszaki paraméterek stb.).

Támazkodva a NATO szakbizottságainak korábbi kutatási eredményeire [7] – a kérdező-válasz folyamat nem lehet hosszabb, mint egy másodperc, azaz 1000 milliszekundum. A relatíve rövid azonosítási időszak meghatározásának (rögzítésének) az oka a nagy dinamikájú, 4–5. generációs légijárművek mozgási (földi rácsapás esetén a műveleti) sebességével magyarázható. A földi célpontok támadásának viszonylatában a légijárművek földfelszínhez viszonyított mozgási sebessége a műveleti feladat függvényében 300–700 km/óra. A nagy sebesség és a relatívan alacsony magasság miatt – a légijárművek szempontjából – nem célszerű a CDA-ban hosszabb időn keresztül azonosítási célból (nem közvetlen harcérintkezésben) repülést végrehajtani, várakozva az ott tartózkodó harcjárművek válaszadóira. Egy másik, nagyon fontos szempont a tervezésnél, hogy az azonosítási folyamat nem zavarhatja a csatornán folyamatban levő kommunikációs feladatok (hang-és adatkapcsolatok) végrehajtását.

Mivel a CDA-ban lévő potenciális célpontok akár azonos időben küldhetik válaszjelüket, ez zavart okozhat az interrogátor válaszjel-érzékelő és feldolgozó rendszerében. Azonban a válaszjel-adónak fontos a válaszjel normaidőn belüli sugárzása, hiszen ha a válaszjel nem érke-

<sup>7</sup> SINCGARS – Single Channel Ground Air Radio System

<sup>8</sup> Ultrarövidhullám URH, angolul Very High Frequency (VHF) és Ultra High Frequency (UHF)

<sup>9</sup> Baráti tűz (angolul: friendly fire): a saját erők tűzvezetése a saját nemzeti vagy a koalíciós partner harcjárműveire, előerőjére (a szerző)

<sup>10</sup> Kritikus pusztítandó harcterület, Critical Damage Area CDA

zik be, az adott harcjárművet az interrogátor célpontként azonosíthatja. Az interrogátor jelfeldolgozási folyamatának is gyorsnak és automatizálnak kell lennie.

Természetesen, az interrogátor nem csak a közelkörzetében sugározhat kérdező jelsorozatot, hanem küldhet célirányos (irányított<sup>11</sup>) kérdező bitsorozatot is. Ez esetben a válaszadó helyzete kedvezőbb, hiszen az interrogátor-adatcsatornában kisebb az esélye a válaszjelek ütközésének, az adatsomagok elvesztésének, ezáltal a helytelen, vagy nem megfelelő szintű azonosításnak. A közvetlen interrogáció kevésbé időérzékeny feladat. Nyilvánvaló, hogy egy – a meglévő terminálok műszaki paramétereire illeszkedő – azonosító szoftver telepítése és üzemeltetése fokozza a harcászati rádióterminálok azonosítási célra való alkalmazhatóságát.

### **Az azonosító jelsorozat integritásának megőrzése**

Az azonosítási folyamatban három jellemző fázist különböztetünk meg. Az első fázis – amit a szakirodalom hailing<sup>12</sup>-nek nevez – megtörténik a válaszjeladó jelérzékelése, azaz észleli, hogy számára egy interrogátor (vezető) állomás kérdező jelsorozatot kíván küldeni. A második fázis magának az azonosító jelsorozat kérésének sugárzása, illetve vétele, majd a harmadik fázisban a válaszjel-adó terminál sugározza a saját geográfiai pozícióját, valamint az azonosító számát és egyéb paramétereit [8]. Belátható, hogy egy kérdező terminál, és egy válaszjel-adó terminál esetében viszonylag átlátható, kezelhető eljárás valósulhat meg, azonban a valós harcászati-hadműveleti helyzet soha sem ennyire egyszerű. A műveleti területen minden esetben több válaszjel-adó is érzékeli a hailing-periódust és a kérdezést követően sugározza a válaszjelet<sup>13</sup>. A különböző termináloktól származó válaszjelek – egyszerre vagy kis időközessel beérkezve az interrogátorba – interferenciát okozhatnak, ami gátolja az interrogátor feldolgozási képességét és téves azonosításhoz vezethet.

Mindhárom fázisban veszélybe kerülhet a kisugárzott jelsorozat integritása, azaz káros interferenciák léphetnek fel. Figyelembe kell venni, hogy nem csak több válaszjel-adó válaszolhat akár azonos időben, de több interrogátor is küldhet hailing-jelet a műveleti területen tevékenykedő, a harcjárművekbe telepített harcászati rádiótermináloknak. Amennyiben rögzített frekvenciás azonosítójel-kisugárzás történik, az interferencia esélye jóval nagyobb, mint a frekvencialéptetéses információtovábbítás esetén, vagyis frekvenciaugratásos (FH<sup>14</sup>) eljárások alkalmazásával az azonosítási folyamat kevesebb behatásnak van kitéve. A válaszjelek kisugárzása és interrogátor általi vétele folyamán is ugyanez a helyzet áll elő, a fizikai csatorna sérülékenységét, integritását a frekvenciaugratásos megoldással lehetséges csökkenteni. További lehetőség még az úgynevezett szórt spektrumú hírközlés<sup>15</sup> módszerét alkalmazni, ami

---

<sup>11</sup> Irányított kérdezés: dedikáció. Külföldi szakirodalomban találkozhatunk még az „unicast mode” kifejezéssel is, ami a pont-pont kapcsolat felvételi módot jelenti (a szerző).

<sup>12</sup> Hailing – figyelemfelkeltés, észrevétel

<sup>13</sup> Pont-multipont kapcsolat felvételi mód. A vonatkozó szakirodalomban találkozhatunk a „multicast mode” kifejezéssel is, elsősorban a harcászati rádiórendszerek kapcsolat felvételi, összeköttetés kialakítási módjai esetén (a szerző).

<sup>14</sup> FH – frekvenciaugratásos eljárás: a harcászati rádióterminál szoftver algoritmus - az adott frekvenciatartományon belül - nagy sebességgel változtatja a vivőfrekvencia értékét (a szerző).

<sup>15</sup> Direct Sequence Spread Spectrum

az FH mellett a legmagasabb szinten biztosítja a csatorna átviteli biztonsági (TRANSEC<sup>16</sup>) követelményeinek való megfelelést.

## AZ AZONOSÍTÓ JELSOROZAT LEHETSÉGES KIALAKÍTÁSAI

Napjainkban nem létezik NATO STANAG a harcászati rádióterminálok hang-és adatkapcsolati összeköttetései hullámformáinak együttes szabályozására, azonban külön-külön a feladat-területek (hang - adatkapcsolat) szabályzásra kerültek [9]. Ennek megfelelően nagyon nehéz a megfelelő szintű azonosító jelsorozat, a későbbi keskenysávú hullámforma ismeretének hiányában tervezni.

A fentebb említett NATO munkacsoportok elméleti kutatási eredményeire alapozva került összeállításra – a vizsgálati eljárás végrehajtására – a Magyar Honvédség által üzemeltetett<sup>17</sup> kézirádió-platformok és harcjármű erősítők által kialakított rádióhálózat. Az elméleti modell [10] azonosító jelei, az úgynevezett szinkronizációs szakasz-bitjei, valamint az üzenetkezdeti bitek a lehető legalacsonyabb szimbólumrátaival kerülnek sugárzásra. Ez – a gyakorlati megvalósítás esetén – lehetővé teszi a gyors frekvenciakövetést (a mindenkori frekvencia-középtérre történő hangolást), valamint az újraszinkronizációt (ha indokolt). Az alkalmazott rádióterminálok frekvencia-értékét és az adatátviteli sebességét is a modell alapvetési alapján állítottam be. Az újraszinkronizáció egyébként nem tervezett e modellben, hiszen relatíve kevés szimbólum kerül továbbításra egységnyi időtartam alatt, valamint a különböző mezők is pontosan definiáltak (rövidek).

Néhány, különböző adatátviteli sebességgel tervezett fizikai hordozóréteg vizsgálata alapján megállapítom, hogy a keskenysávú (25 kHz) elméleti hullámforma – változó bitráta/szimbólumsűrűség esetén – kedvező jel/zaj viszonyt<sup>18</sup> (dB) eredményez, a minimális blokkhibákat is figyelemmel követve. Az 1. táblázatban kalkulált (mért) bitrátákat és jel/zaj viszonyokat vizsgálhatunk.

hullámforma megnevezése	adatráta (kbit/s)	csatornaszimbólum ráta	jel/zaj viszony (dB)
hullám1	20	30	2.5
hullám2	48	62	14.6
hullám3	64	80	18.6

1. táblázat Kalkulált (mért) hullámformák és a jel/zaj viszony összefüggései

A hullámformák folyamatos fázismodulációval (CPM)<sup>19</sup> kerültek tervezésre és mérésre, a

<sup>16</sup> TRANSEC – Transition Security, átviteli biztonság: a kommunikációs csatorna felderíthetőségét csökkentő, zavarás elleni védelmét biztosító eljárásrendszer (a szerző)

<sup>17</sup> KONGSBERG MMR MV-300/MP-300, HARRIS AN/PRC-152C

<sup>18</sup> Jel/zaj viszony: Signal to Noise Ratio SNR: két teljesítmény hányadosát jelenti. A jel (információ) és a háttér zaj teljesítményének hányadosának ( $P_{jel}/P_{zaj}$ ) decibel értékét fejezi ki.

<sup>19</sup> Folyamatos fázismoduláció: Continuous Phase Modulation CPM

vonatkozó NATO STANAG<sup>20</sup> alapján.

A tudományos közlemény megszabott terjedelme nem teszi lehetővé a vonatkozó mérési eredményeim további, részletes bemutatását. A mérési eredmények közzlése és részletes magyarázata további szakmai munkát (méréseket, műszaki analízist) igényel. Az elért eredményekre alapozva kijelenthetem, hogy az átviteli közeg fizikai rétegén továbbítani tervezett bitsűrűséget a 20 és a 96 kbit/s értékek közé célszerű tervezni (figyelembe véve a harcászati rádióterminálok hardver és szoftver paramétereit), továbbá célszerűnek tartom a harcászati rádióterminálok esetében bevált – és a vonatkozó NATO STANAG alapján szabványosított - folyamatos fázismodulációt, valamint dinamikus időosztásos többszörös elérésű (D-TDMA)<sup>21</sup> rendszert alkalmazni.

Az elképzeléseim szerint, a további tervezéseim folyamán az infokommunikációs csatorna időréseiben kívánom továbbítani az azonosító jelsorozat információs bitjeit, ami lehetővé teszi a jelenleg használatban lévő harcászati rádióterminálok alkalmazását nem csak hang-és adatkommunikációs célokra, hanem az azonosító bitsorozatok feldolgozására is. NATO munkacsoportok jelenlegi kutatásai bemutatják [11] egy lehetséges keskenysávú hullámforma hálózati rétegének időintervallum-hosszúságát (slot), amely a tervezés szerint 20,25 milliszekundum. Ennek alapján úgy kalkulálom, hogy azonosítási információk továbbítására – a hálózati rétegben osztottan – legfeljebb 50 időslot időtartam állhat rendelkezésre (1012,5 milliszekundum). Saját kutatásaimban ezt vettem alapul az időslot-ok bitjeinek tervezésénél.

Az azonosító jelsorozatok küldése és feldolgozása közötti időtartam – szélsőséges esetben – akár végtelen is lehet, ezért a hagyományos FH csatornaüzemre (hang-és adatkommunikáció) a lehető legkisebb ráhatással van. Ezzel együtt a sikeres azonosítás rendkívüli módon fontos és értékes az adott harcászati-hadműveleti rádiórendszerben. A minél rövidebb idő alatt megvalósuló, eredményes azonosítás végrehajtása érdekében fontos egy olyan azonosítójel-periodicitást tervezni, amely lehetővé teszi a csatorna normál üzemének minél rövidebb idejű megterhelését, a behatások elkerülését. Tehát a keskenysávú hullámforma adatmezőiben, a hang-és adatkommunikációs szabad időablakokban (slot-ok) legalább 200 bit<sup>22</sup>, rádióterminál-azonosításra alkalmas (válasz) információt kell továbbítani, ami jelentősen növekedhet – a válaszadó terminál, összességében a rendszer konfigurálásának, programozásának eredményezhetően – az információ minősítési szintjének és egyéb információ-összetevőknek hatására. A 200 információs adatbit továbbításához – 20 kbit/s átviteli sebességű csatornában – 10 milliszekundum szükséges, továbbá indokolt további időtartamot tervezni a szinkronizációs folyamatok szabályozására is. Ezek alapján az azonosítási folyamat az alábbiak szerint tervezhető:

- az első fázisban (hailing-fázis) az interrogátor jelez a műveleti területen tartózkodó harcászati rádiótermináloknak, hogy azonosítási információ kérése következik. Ebben a fázisban történik meg a további szinkronizáció is az interrogátor és a válaszjeladók között, hiszen a válaszjel-adóknak időszakosan keresniük szükséges a hailing-jeleket.

---

<sup>20</sup> STANAG 4204 Edition 3

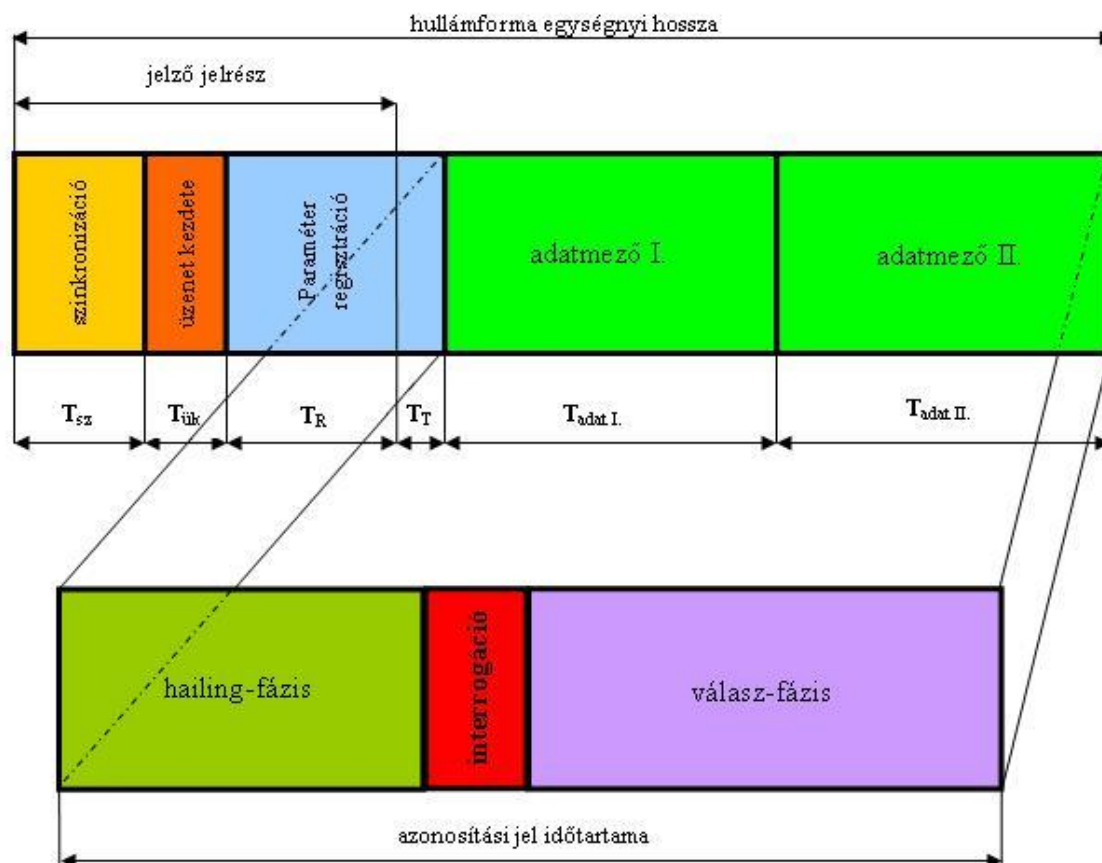
<sup>21</sup> D-TDMA (ANSI-136): Dinamic Time Division Multiple Access

<sup>22</sup> 200 bit azonosítási információ egy - részemről - kalkulált adat. A végleges bitmennyiség a keskenysávú hullámforma rendelkezésre állása esetén alakítható ki.

Ez a kooperáció vezethet a legkisebb veszteséggel járó adatcseréhez az interrogátorok és a válaszjel-adók (transponderek) között;

- a második fázis maga a kérdező (interrogációs) bitsorozat kisugárzása/vétele;
- a harmadik fázis a válaszadási/válaszjel vétel időszaka, amikor a transzponderek (harcászati rádióterminálok) válaszjeleket sugároznak az interrogátor számára.

Az azonosító jelsorozatnak a perspektivikus keskenysávú hullámformában való elhelyezkedését mutatja az 1. ábra.



1. ábra Az azonosító jelsorozat elhelyezkedése az adatmezőkben

Elméleti kutatásaim alapján úgy vélem, a hailing-fázis az azonosító jel átlagos időtartamából legalább 40-45% időintervallumot foglalhat le, hiszen szükséges elegendő időszakot hagyni a műveleti területen tevékenykedő harcjárművek rádiótermináljainak, hogy észleljék az interrogátor jelenlétét (a későbbi kérdező fázis információs bitjeire felkészüljenek) és – számolva a hadszíntéren jelenlévő nagyszámú azonosítandó terminálra – eséllyel készüljenek fel a válaszjelek akár többszöri (vissza) sugárzására. Továbbá a válaszjeladó termináloknak elegendő idő szükséges, hogy a hadszíntéren szolgálatot teljesítő interrogátorok hailing-fázisát „megtalálják”, keresőfunkciójukat kiteljesítsék.

Álláspontom szerint szükséges – azonos hailing-fázison belül – legalább két alkalommal történő interrogátor jel keresése a megbízható azonosítás megalapozásához. Ennek megvalósítására lehetőség kínálkozik, ha már a D-TDMA-rendszer tervezésénél, az elméleti keskenysávú hullámforma kialakításának tervezésekor figyelembe vesszük a TDMA-ciklus üres időkezeleteiben tervezett azonosító jelek adásának és vételének igényét. Jelen kutatásomban nem

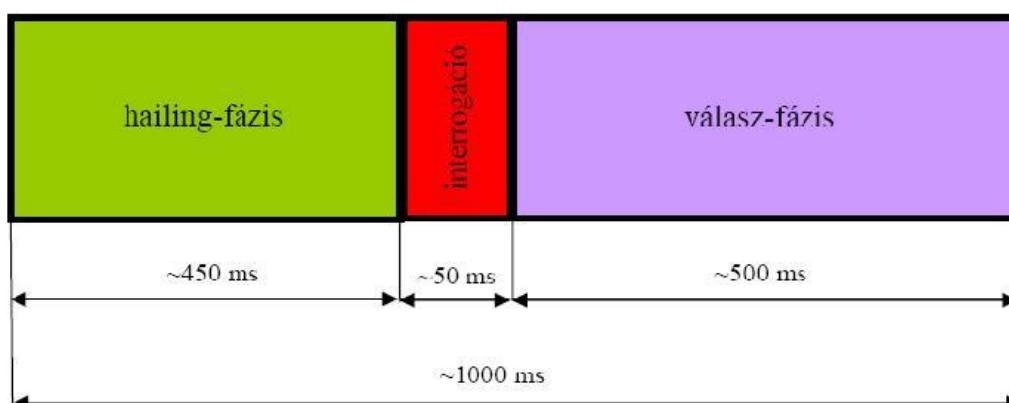
kívánok az elméleti keskenysávú hullámforma magasabb szintű előtervezésébe bonyolódni, alapvetően a CPM-rendszerek (64–96 kbit/s) elméleti vizsgálatára koncentrálok, amely tervezés alapját a Magyar Honvédség által használt/alkalmazott, rendszeresített, digitális rádióterminálok biztosítják.

Az interrogációs fázis idejének az egész azonosítási jelsorozat időintervallumára tekintettel 5-10% időtartamot tervezek, hiszen a kérdező jelsorozat kötött információs bitjei jól definiálhatóak és programozhatóak a kérdező terminálok adattábláiban.

A legnagyobb időintervallumot a válaszjelek sugárzásának célszerű biztosítani, hiszen – a válaszjel-adó szempontjából – létfontosságú, hogy a válaszjelei – többször is – biztosan megérkezzenek és feldolgozásra kerüljenek az interrogátor processzor-egységében. Ellenkező esetben a támadó harcjármű (akár légi jármű) – mivel nem azonosítja „barát”-ként a műveleti területen tartózkodó harcjárművet (terminált), tüzet vezethet rá.

### Az azonosító jelsorozat egy variációjának bemutatása

A transzponderek hailing-fázist kereső funkcióját minden egyes transzpondernek önállóan kell megvalósítani, figyelembe véve, hogy az adott D-TDMA rendszerben a rádióállomások alapvető funkciója a hang és az adatátvitel (rádióforgalmazás) biztosítása. A D-TDMA rádióforgalmazás szüneteiben lehetséges az azonosító jelek (hailing) keresése, interrogáció esetén a válaszjel-sorozat összeállítása és (többszöri) kisugárzása. Ennek megfelelően a 2. ábra szerinti tervezést valósítottam meg.



2. ábra Az azonosító jelsorozat egy variációjá<sup>23</sup>

Elméleti számvetésem alapján a hailing-fázisnak a maximális időintervalluma 400–450 milliszekundum, ami lehetőséget biztosít a transzponderek számára az együttműködés kialakítására a későbbiekben kérdező jelsorozatot sugárzó rádióállomással, minimálisan 18 milliszekundum keresési időintervallum biztosításával. A transzponderek keresési ciklusának programozásánál figyelembe kell venni az alábbiakat:

- a keresési ciklusok bitjeinek továbbítására a rádióterminálok hang-és adatkommunikációjának szüneteiben, az üres időablakokban kerülhet sor (használgon hang és adatkommunikációs adásra vagy vételre nem foglalt slot-okat;

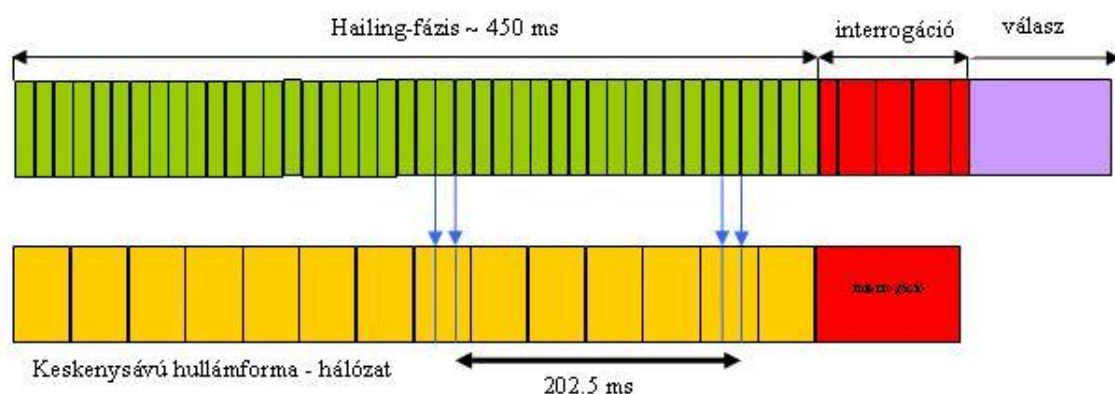
<sup>23</sup> Forrás: a szerző



- ha nincs ilyen slot, a legkevesebb behatással legyen a felépült hang-és adatkapcsolatra.

A műveleti rádiórendszerek a későbbiekben rögzíthetnek majd olyan kötelezettségeket, amelyek előírják az azonosító jelsorozat tervezőinek, hogy a hálózati szempontból fontos információ (ez lehet mind hangkapcsolat, mind adatátvitel) továbbítása esetén az azonosító jel bitjei háttérbe szorulhatnak a rádióterminál alaprendeltetése érdekében. Számvetésem szerint tervezhető lehet dedikált időslot is az azonosító jelek továbbítására, ez azonban csökkenti az alaprendeltetés szerinti hálózati rendelkezésre állást.

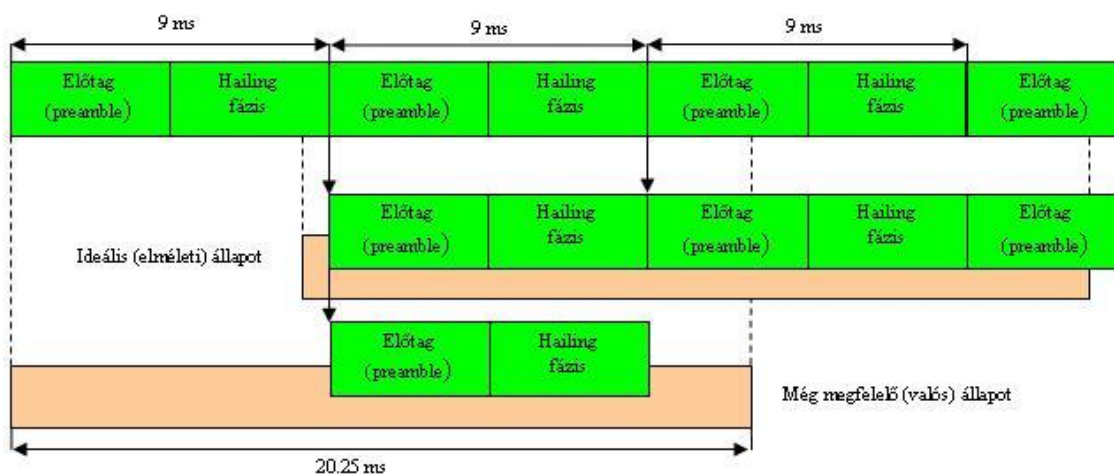
Amikor a harcászati rádióterminál érzékeli a hailing-fázisnak megfelelő jelsorozatot (3. ábra), szoftverének képesnek kell lennie kalkulálni az interrogáció beérkezésének idejével, azaz a kalkuláció elvégzésével lehetővé válik a rádióterminál folyamatos üzeme az alaprendeltetésből adódó (hang-és adatkapcsolat kialakítása) feladatok végrehajtására.



3. ábra Azonosító jelek időslot-ja hailing-fázis válaszinformációi számára (koordináció)<sup>24</sup>

A hailing-fázis időtartama mindig attól függ, mennyire szeretnénk a rádióhálónkat – azonosítási szempontból – hatékonyra tenni, vagyis minél hosszabb a hailing-fázis, annál nagyobb az esélye a pozitív azonosítási folyamat megvalósításának. A harcászati rádióterminálok részéről szükséges keresési idő tehát minimum 18 milliszekundum (előtag és hailing-fázis időtartama), hogy detektáljon legalább egy 20 kbit/s-al sugárzott hailing-jelzést (aszinkron keresés). Nagy jel-zaj viszony esetén az átviteli csatornán továbbított azonosító jelsorozat tördelhető rész-jelsorozatokra, minden rész-jelsorozat külön előtagot (preamble) igényel. A válaszjel-adóba beérkező előtagok alapján a válaszjelre várakozás ideje is szoftveresen változtatható (4. ábra).

<sup>24</sup> Forrás: a szerző



4. ábra 20,25 ms időablak alkalmazása a hailing-fázisban<sup>25</sup>

A 4. ábrán követhető, ha az elméleti keskenysávú hullámforma támogatja a 20,25 millisekundos időablakokat, akkor esély van rá, hogy egy időablakban – optimális esetben – két előtag és hailing-fázis bitsorozatot érzékeljen a vevőegység. A megfelelő állapot azt mutatja be, hogy a legrosszabb esetben egy előtag és hailing-fázis bitsorozat érkezik a vevőterminál bemeneti egységére, ami még lehetővé teszi a felkészülést a kérdezőbitek és a válaszjel-sorozat kialakítására és továbbítására.

Amikor a rádióterminál sikeresen detektálja a hailing-fázisban érkező jeleket, képes lesz (megfelelő szoftverkialakítással) meghatározni az interrogációs bitsorozat kezdetét. Sikertelen hailing-fázis érzékelés (detektáció) esetén, amikor a vevőegység érzékeli az előtagot, de képtelen dekódolni a hailing-információt, a harcászati rádióterminálok szoftvere várakozik a következő hailing-fázis kezdetére. Figyelembe kell venni azonban, hogy a hailing-jelsorozat „keresése” növeli a rádióhálózat behatásokkal szembeni sérülékenységét.

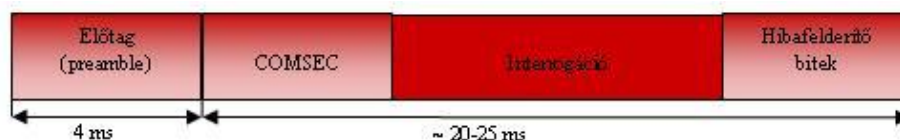
Kiemelt feladat a hailing-fázisban történő adatcsere ellenség általi felfedésének elkerülése. Ennek érdekében kötelezően alkalmazandóak TRANSEC vagy COMSEC<sup>26</sup> eljárások. A zavarvédett üzemeltetést lehetővé teszi egy lassú frekvenciaugratásos üzemmód alkalmazása a hailing-fázisban, az információvédelmet pedig megvalósíthatja kriptográfiai módszer alkalmazása a jelek értelmezésének megnehezítésére. Mindkét eljárás (órajel) szinkronizációt igényel.

### Interrogációs fázis

A sikeres hailing-fázist követően a műveleti területen szolgálatot teljesítő harcjárművek (rádióterminálok) képesek értelmezni az interrogációs bitsorozatot. Az interrogációs fázisban a kérdező terminál kérdező bitsorozatot küld – periodikusan többször is – a vevőegységeknek. Számvetésem szerint öt kérdező impulzus kisugárzása elegendő ahhoz, hogy a vevőoldali egységek a megfelelő szinten érzékeljék és feldolgozzák a kérdező impulzussorozatot.

<sup>25</sup> Forrás: a szerző

<sup>26</sup> COMSEC: Communications Security, információbiztonsági eljárások együttese, amikor az átviteli csatornán továbbított adatot rejtjelező, információvédelmi eljárással titkosítjuk (a szerző)



5. ábra A kérdező bitsorozat kialakítása<sup>27</sup>

A kérdező bitsorozat periodikus kisugárzása lehetővé teszi a vevőoldali termináloknak, hogy – sikeres hailing-fázist követően – egy esetleges interrogációs bitegység-tévesztés esetén is hitelesen érzékeljék a kérdező impulzusokat és egyértelműen azonosítsák, hogy a kérdező terminál a rádióhálóban üzemelő terminálok közül az adott – azonosítandó – terminált is kérdezi.

Az 5. ábrán figyelemmel követhető az interrogációs fázis elvi kialakítása. Az előtag az eredményes szinkronizációhoz szükséges. Számvetésem alapján a 4 ms időablak elegendő a megfelelő szintű szinkronizációs eljárások szoftveres lefolytatására. Fenntartom azonban, hogy a sikeres hailing-fázis és az ebben a fázisban már elvégzett szinkronizáció lehetővé teszi az interrogációs fázis előtag-idejének csökkentését (felezését). A vizsgált elméleti hullámformában egy 20,25 ms időablakban lehetővé válik legalább 150–200 kérdező impulzus (bit) továbbítása. A 150–200 bit információ - a felosztásom szerint - tartalmaz kérdező impulzusokat (~80 bit), COMSEC-funkciós biteket (~40 bit), valamint hibafelderítő biteket (~16–30 bit CRC<sup>28</sup>). Az a vevőegység, amely a jelfeldolgozási eljárás folyamán érzékeli, hogy az interrogáció nem rá vonatkozik, visszatér a normál üzemmódú D-TDMA üzemére, periodikusan kapcsolódván a hailing-fázis érzékeléséhez szükséges frekvencia (frekvenciasáv) figyelésére.

### Válasz az interrogációra (válasz-fázis)

A sikeres interrogációs fázist követően a rádiótermináloknak fel kell készülni a megfelelően összeállított jelsorozat visszasugárzására<sup>29</sup>. Több választerminál több válaszimpulzusa közel azonos időben kerül sugárzásra, ezért az interrogátor számára ez jelredundanciát eredményezhet, egyben a válaszjel-adók számára létfontosságú, hogy legalább egy tökéletes válaszjel-impulzussorozat vétele megvalósuljon. A Magyar Honvédség missziós szerepvállalásából adódóan megvalósuló, a nemzetközi műveletek során személyes, gyakorlati tapasztalatom, hogy amennyiben három vagy több rádióterminál közel azonos időben sugároz válaszjel-impulzussorozatot, ez az interrogátori oldalon – szinte minden esetben – jelvesztést eredményez. E gyakorlati tapasztalat csupán akkor változik meg előnyére, ha a műveleti területen tevékenykedő harcjárművek harcászati rádiótermináljai közül valamely nagyobb teljesítménnyel sugározza ki válaszjel-impulzusát, ezzel elnyomva a kisebb teljesítményű jelforrásokat. A további elméleti kutatásaimban ezt a lehetőséget nem vettem figyelembe, mivel a Magyar

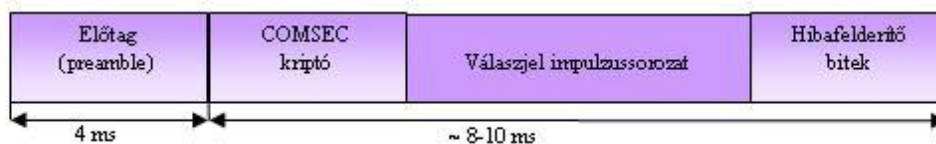
<sup>27</sup> Forrás: a szerző

<sup>28</sup> CRC – Ciklikus Redundancia Kód: adatátviteli hibakeresési eljárás, ahol a küldő egység adás előtt hajtja végre az ellenőrző számítását, majd ennek eredményét is elküldi a fogadó egységnek. A fogadóegység megismétli adás után a számítását. Ha mindkét egység ugyanazt az eredményt kapja, akkor feltehetőleg az átvitel hibamentes volt. A rádióforgalmazás folyamán tehát során nem csak adatbitek kerülnek továbbításra, hanem redundáns hibakeresési jelek is (a szerző).

<sup>29</sup> „please hold fire” üzenet

Honvédség afganisztáni és balkáni misszióiban alkalmazott harcászati rádióterminálok és harcjármű erősítők – azonos típusokkal vizsgálódva – megközelítőleg azonos teljesítményszinttel sugároznak<sup>30</sup>.

Kutatásaim alapján a legjobb hatásfokkal azok a válaszjel impulzusok voltak érzékelhetőek, feldolgozhatóak az interrogátorok által, amelyek nagymértékben megegyeztek a kérdezőjel-impulzussorozatokkal. Azonban – a kérdező jelsorozattal azonos teljesítményszint és modulációs módozat mellett – a válaszjel feldolgozhatósága nem éri el az értékelhető szintet. További hibaforrás, hogy – a vizsgált elméleti hullámforma paramétereit mérve – nem érhető el a 2,5–3 dB-nél nagyobb jel-zaj viszony a rádiókapcsolat folyamán, ami nem elegendő egy hiteles (megfelelő szintű) azonosításhoz. Különösen nagy hiba jelentkezik az interrogációs jelfeldolgozásban, amikor nem csak föld-föld, de föld-levegő azonosításra is szükség van (légijárművekkel támogatott műveletek). Ez esetben már nem tekinthetünk el a földi és a légi rádióterminálok teljesítményszintjei különbözőségének, az ebből adódó csatornaelnyomás kalkulációjától sem, hiszen nem kizárt lehetőség, hogy akár földi, akár a légiterminalok - még azonos rádiócsaládhoz tartozó készülékek esetén<sup>31</sup> is - különböző polaritású antennákat, antennarendszereket, valamint különböző modulációs módokat alkalmaznak. Megoldást jelenthet a hatékony híradásszervezői tevékenység, a művelet előtervezési fázisaiban a híradó (hadműveleti) tervező tiszték összehangolt munkája a különböző harctéri rádiókészülékek antennarendszereinek és a modulációs módoknak a tervezése, a koordináció a résztvevő nemzetek között. A 6. ábrán a válaszjel-impulzussorozat felosztását követhetjük figyelemmel. Kiemelendő, hogy a válaszjel impulzussorozat hossza a COMSEC-hez alkalmazott bitsorozat növelése<sup>32</sup> alapján változhat.



6. ábra A válaszjel impulzussorozata<sup>33</sup>

## ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

Az elmúlt évtizedek háborús konfliktusai megmutatták, hogy a modern korunk többnyire aszimmetrikus jellegű műveleteiben a saját (koalíciós) csapatok technikai eszközparkjának fejlettsége még nem minden esetben jelenti a siker biztosítékát, a biztos harctéri információs dominancia megteremtését. Az információs műveletek során, a fizikai és az információs dimenzióban lezajló cselekmények rendkívül sebezhetővé teszik a kölcsönösen összekapcsolt és illesztett infokommunikációs rendszereket, tág teret hagyva az információs műveletek körébe tartozó, az információs dimenzióban végrehajtásra kerülő harctéri cselekményeknek [12]. A

<sup>30</sup> HARRIS terminálok: 5-20W, KONGSBERG MRR rádiócsalád: 1-10W. Hejzármű erősítőkkel: 50W, 150W

<sup>31</sup> HARRIS FALCON II és FALCON III, KONGSBERG Multi Role Radio

<sup>32</sup> NATOS CONFIDENTAL és/vagy NATO SECRET minősítési szint esetében különbözhet (növekedhet) a jelsorozat a leginkább (a szerző).

<sup>33</sup> Forrás: a szerző

harcmezőn az ellenséges, valamint a saját erők által alkalmazott behatások következtében elvesztett személyi állomány és technikai eszközpark veszteség-és vizsgálati világosan megmutatták, hogy nagy jelentősége van a saját erők aleggységeinek nyomon követésének, a mindenkori, a hiteles azonosítási képesség megteremtésének.

A NATO szakbizottságai, valamint a velük szerződésben álló katonai és polgári szervezetek, vállalkozások hosszú idő óta próbálnak összeállítani egy olyan, a jelenlegi és a perspektivikus igényeket a legjobban kielégítő keskenysávú digitális hullámmodellt, amely lehetővé teszi a szabványosított hang-és adatkommunikációs jelsorozatok strukturált megjelenését, valamint a szükséges redundancia biztosításával lehetőséget teremt a hullámformába integrált egyéb – azonosítási céllal tervezett és fejlesztett – digitális impulzussorozat kialakítására és a csatornán keresztül a továbbításra. Jelen kutatási anyag kéziratának lezárása időpontjáig (2012. október) nem létezett ilyen egységes és elfogadott hullámmodell, azonban a NATO szervek kintartó fejlesztési munkája folyamán ajánlások kerültek megfogalmazásra – a szabványosítást megelőzően - a jelforma kialakítására (impulzushossz, sáv szélesség, stb.).

Az ajánlások figyelembe vétele nem kötelező, mégis a szoftvervezérelt rádiókat (SDR-rádiók<sup>34</sup>) gyártó vállalkozások megpróbálták ezen ajánlásokat és a technikai lehetőségeiket kombinálva a lehető legjobb eredményeket elérni a harctéri interoperabilitás megvalósítása, valamint a szoftvervezérelt terminálok üzemeltetésének feltételei mindenoldalú biztosítására.

Alapvető következtetésem, hogy a kutatásomban bemutatott elméleti azonosítási hullámforma-modell nem lehet kizárólagosan alkalmas a jelenlegi, a Magyar Honvédség által beszerzett és üzemeltetett rádióterminál-park szoftvereinek változtatására, átalakítására. A vizsgálatok jelen részét befejezve nyilvánvalóvá válik, hogy a jelsorozat kialakításának variációja a végtele felé konvergál, ennek megfelelően – figyelemmel a hordozó közegre – folyamatos módosítása elengedhetetlen. További következtetésem, hogy az azonosító jelsorozat kialakításának tervezése és vizsgálata folyamán észlelt pontatlanságokon (hailing-fázis hibái, a válaszjel-periódus sérülékenysége, stb.) túl további azonosítási hiba okokat is szükséges lesz vizsgálni a harcmezőkön megbízható vezetést és irányítást igénylő parancsnokok információs támogatása érdekében. Ezek a kutatások nem tartoznak szervesen az általam vizsgált bitsorozat rendszer-kialakításához, azonban fontosnak tartom lejegyezni. Ezek lehetnek:

- GPS-jel pontatlansága: A GPS-jelnek a kereskedelemben is kapható vevőegységei általában az 1–10 méteres pontossággal üzemelnek<sup>35</sup>. A korszerű csapásmérő eszközök sokszor sebészeti pontosságú célravezetést biztosító rendszereiben ezen 10 méter pontatlanság akár végzetes is lehet;
- az ultrarövidhullámú jelek terjedési sajátosságaiból (LOS és BLOS<sup>36</sup>), valamint az időjárás és légköri anomáliákból (köd, pára, szálló homok és por) eredő átviteli csatorna-hibák;

---

<sup>34</sup> SDR – Software Defined Radio

<sup>35</sup> Az USA Védelmi Minisztériuma korlátozta a polgári rendszer-elérést. Úgynevezett „selective availability SA” eljárással „csenkolták” a jelsorozatot, ami a műhold-koordinátákat továbbította. 2000. május 1-től az amerikai elnök megszüntette e korlátozást (a szerző).

<sup>36</sup> LOS és BLOS – közvetlen rálátásos üzemmód (Line of Sight), illetve ennek kiterjesztett változata (Beyond Line of Sight)

- a harcjárművek monopólus antennáinak érzékenységéből adódó hibák és azok kiküszöbölésének módjai;
- a távolság, mint befolyásoló faktor szerepe a harctéri azonosításban: az elektromágneses hullámok terjedése szempontjából tekintve a távolabbi választerminál jele hosszabb idő alatt ér az interrogátorhoz. Mivel a harcászati ultrarövid-hullámú rádiórendszerek alapvetően kis lefedettségi tartományban üzemelnek, a jelenség azonosításra vonatkozó hatása elenyésző;
- jelinterferencia az interrogátorban, esetlegesen már a válaszjel-adóban is (amennyiben több interrogátor is küld kérdező impulzussorozatot);
- a harcmezőn tevékenykedő technikai eszközök eltérő kimeneti teljesítmény-viszonyai miatt az interrogátorban esetlegesen jelszint-elnyomás jöhet létre, a nagyobb teljesítményű sugárzó terminál elnyomja a kisebb teljesítményű jelforrást.

A felsorolt további problémák tehát folyamatos kutatást, komplex áttekintést igényelnek a mérnököktől és az alkalmazó szakmai személyzettől egyaránt, továbbá lépést kell tartani a folyamatosan fejlesztett SDR-terminálok műszaki képességeinek gyors változásával, fejlődésével is. Az átviteli csatornában jelentkező elektromágneses anomáliák, valamint az ezek csökkentésére, kiküszöbölésére hivatott eljárások egy újabb tudományos kutatás-sorozatot igényelnek.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] CSABAI György CsS: Visszatekintés az 1990-91-es Öböl-háború tapasztalataira, ZMNE Fórum 2003, [http://www.zmne.hu/Forum/03marcius/svihar\\_hm](http://www.zmne.hu/Forum/03marcius/svihar_hm) (Letöltés ideje: 2011. október 20. 14:11)
- [2] Military Analysis Network: Battlefield Combat Identification Systems BCID, In: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/bcis.htm> Letöltés ideje: 2012. november 20, 19:11
- [3] Haig Zs.: Command and Control Systems in the XXI Century. Hadtudományi tájékoztató 2001. 7.sz. I. rész, Budapest, 37-53p. pp 50-51.
- [4] Haig Zs.; Várhegyi I.: Hadviselés az információs hadszíntéren. Zrínyi Kiadó, Budapest, 2005. ISBN 963 327 391 9 pp 120-121.
- [5] SPAANS, DEAN, JACKSON: Enhancing the combat ID, Naval Postgraduate School magazine, pp. 1. In: <http://harvest.nps.edu/scythe/Issue3/Scythe3-Team8-Report.pdf> (Letöltés ideje: 2011. december 16. 14:11)
- [6] FM 11-1. TALK II-SINCGARS, 1996. május, pp. I-1 I-2.
- [7] Technical standards for narrowband physical layer of the NATO networking enabled communications waveform and VHF propagation models, Draft 4, NATO C3B SC/6 AHWG/2. 2010. március, p. 6.
- [8] LIBAEK: A proposal for radio based combat identification (RBCI), FFI-report 2009-01983, 2010. november 18. pp. 12-13.
- [9] B. S. YALCIN: Radio frequency identification, 2010. június, ISBN 978 36 42 16821 5 pp. 125-128.
- [10] JODALEN, SOLVERG, HAAVIK: NATO narrowband waveform – overview of link layer design, FFI-rapport 2009/01894 2011. március 28, ISBN 978 82 464 1928 2, pp.11-12.
- [11] S. HAAVIK: Radio Based Identification, NATO C3 Board Subcommittee 6 study, 2010. június, pp. 11-12.
- [12] HAIG Zsolt: Az információs hadviselés kialakulása, katonai értelmezése, Hadtudomány folyóirat XXI. évfolyam, 2011. május, pp. 12-28. ISSN 1215 4121, pp. 17-18. In: [http://mhtt.eu/hadtudomany/2011/1/HT-2011\\_1-2\\_4.pdf](http://mhtt.eu/hadtudomany/2011/1/HT-2011_1-2_4.pdf) (Letöltés ideje: 2012. november 19. 20:02)