

Balog Károly

balog.karoly07@gmail.com

DIGITÁLIS PMR RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA I.

Absztrakt

Cikkemben a hagyományos analóg rendszereket fokozatosan leváltó elterjedtebb FDMA¹ típusú digitális PMR² szabványok, rendszerező, összehasonlító elemzésének eredményeit foglalom össze. Ismertetem a feldolgozott szabványokból, egyéb technikai leírásokból megismerhető, általános, és azoktól eltérő egyedi megoldásokat, eljárásokat, melyekből következtetéseket vonok le a felderítésük és azonosításuk lehetséges ismérveire, technikai paramétereik megállapításán keresztül. Az ismérvek megállapításának célja az alacsony szintű analóg és digitális beszéd típusú PMR adások felderítésére, azonosítására a beszédinformáció kinyerésére univerzálisan alkalmazható eszköz paramétereinek, a vételi képességek tulajdonságainak kidolgozása.

This article summarizes the results of the comparative analysis of the more common FDMA type digital PMR systems, which gradually replace the presented analog systems. I describe the commonly used and unique solutions and procedures from the processed standards, technical descriptions and from which conclusion are set out in the radio detection and identification of possible criteria, through technical parameters. The goal of develop parameters is the low-level analog and digital, voice type PMR transmission detection, identification, speech information extraction for the determination of parameters of the radio reception capabilities, in the universally applicable device.

Kulcsszavak: *PMR (Professional/Private Mobile Radio), DMR (Digital Mobile Radio), dPMR (Digital PMR), LLVI (Low Level Voice Intercept), COMINT (Communications Intelligence) ~ professzionális / magán mobil rádió, digitális mobil rádió, digitális professzionális mobil rádió, alacsony szintű beszéd típusú kommunikációs jelek felderítése, kommunikációs felderítés*

¹ FDMA: Frequency Division Multiple Access – frekvenciaosztásos többszörös hozzáférési (rádiócsatorna megosztási) eljárás

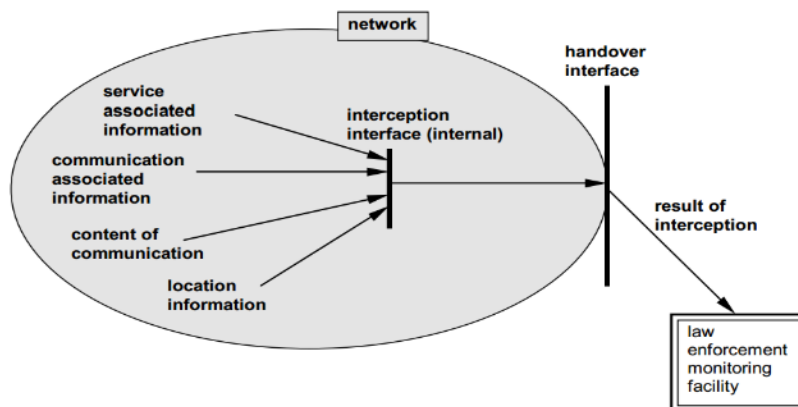
² PMR: Professional / Private Mobile Radio - professzionális / magán mobil rádió: A felhasználók által saját maguknak nyújtott zártkörű rádióalkalmazások gyűjtőneve

BEVEZETÉS

A két cikkből álló sorozat első részében, a hagyományos, analóg PMR rendszereket fokozatosan leváltó – frekvenciaengedélyhez kötött és nem kötött formában egyaránt alkalmazható – világviszonylatban elterjedtebb digitális PMR szabványok közül, az FDMA típusú keskenysávú szabványok rendszerező, összehasonlító elemzésének eredményeit foglalom össze. Ismertetem a feldolgozott szabványokból, specifikációkból, egyéb technikai leírásokból megismerhető általános, és azoktól eltérő egyedi megoldásokat, eljárásokat, melyekből következtetéseket vonok le a felderítésük és azonosításuk lehetséges ismérveire, technikai paramétereik megállapításán keresztül. Az ismervek megállapításának célja az alacsony szintű analóg és digitális beszéd típusú PMR adások jeleinek felderítésére, azonosítására a beszédinformáció kinyerésére univerzálisan alkalmazható eszköz paramétereinek, vételi képességeinek tulajdonságainak kidolgozása. Ez főleg a nemzetbiztonsági, de a katonai felderítés számára is jelentőséggel bír, mivel ezek a rendszerek és az egyedi készülékek képesek kikerülni a hagyományos távközlési infrastruktúrákat, így ebben az esetben felderítésük, ellenőrzésük kizárólag rádiós úton a kommunikációs felderítés eszközrendszerével lehetséges. A cikk tervezett II. részében a TDMA³ típusú szabványok vizsgálatát fogom a fenti módszerek segítségével elvégezni, így az I. és II. rész együttesen fog áttekintést nyújtani a digitális PMR szabványokról.

A KOMMUNIKÁCIÓS ELLENŐRZÉS ÉS A TÖRVÉNYES ELLENŐRZÉS KAPCSOLATA

Az ún. törvényes ellenőrzésnek (LI)⁴ a távközlési rendszerekkel szemben támasztott általános technikai követelményeit európai szinten az ETSI⁵ szabványok tartalmazzák. Az ETSI 1991 óta vezető szerepet tölt be az LI szabványosításában. Ezek egyes országokra vonatkozó konkrét szabályait pedig általában a nemzeti távközlési /hírközlési/ törvényekben és egyéb ország specifikus jogszabályokban rögzítik. A törvényes ellenőrzésnek egyre nagyobb szerepe van a nemzetbiztonságban, a terrorizmus elleni harcban, és a súlyos bűncselekmények kivizsgálásában, megelőzésében egyaránt [1], azonban nem mindenható eszköz a távközlés ellenőrzésében. Az LI szabványos egyszerűsített technikai megvalósítását vázolja az 1. ábra.



1. ábra A törvényes ellenőrzés általános technikai kivitelezése [2]

Az LI koncepciójából következik, hogy olyan rendszerek és egyedi eszközök ellenőrzése nem lehetséges ebben a formában, amelyeket nem szolgáltatásként vesznek igénybe (nem

³ TDMA: Time Division Multiple Access – időosztásos többszörös hozzáférési (rádiócsatorna megosztási) technika

⁴ LI: Lawful Interception – törvényes ellenőrzés (A távközlési rendszerek törvényes lehallgatása)

⁵ ETSI: European Telecommunications Standards Institute – európai távközlési szabványosítási intézet

regisztráltak a hírközlés jogi engedélyezési rendszerében), nem kapcsolódnak semmilyen egyéb hálózathoz és más kommunikációs rendszerhez, hanem azokat maguknak nyújtják a felhasználók (bűnözők, terroristák) egy zárt csoport részére. Ez fokozottan érvényes az illegálisan alkalmazott és az engedélyhez nem kötött rádiókészülékekre, melyek más távközlési infrastruktúrákhoz egyáltalán nem csatlakoznak, így az LI tudatos elkerülésének eszközei. Az 1. ábrán jelölt internal interception interface (belső lehallgatási felület) szerepét ekkor egy külső lehallgatási felület, a rádiócsatorna veszi át, azaz kommunikációs felderítésről (COMINT⁶) beszélhetünk.

Természetesen kommunikációs felderítést szolgáltatásként nyújtott rendszerek esetében is lehet alkalmazni (pl. GSM, vagy trónkölt PMR rendszerek pl. TETRA esetében, annak ellenére, hogy ezekre egyértelmű LI szabványok kerültek kidolgozásra), azonban az általam vizsgált rádiószabványok esetében a szabványszintektől és kategóriáktól függően – az un. direkt kommunikációt alkalmazó PMR hálózatok esetén – ez az egyetlen és kizárólagos módja az ellenőrzésnek. Azonban az un. diszpécser típusú (átjátszóállomást alkalmazó) PMR rendszereknél elviekben mindkét módszer (LI, COMINT) alkalmazható, de ezekre nem létezik kidolgozott LI szabvány, így a COMINT egyelőre itt is fontos szerepet játszik. A trónkölt (civil) PMR rendszerekre szintén nincs konkrét LI szabvány, azonban ezekre vélhetőleg a TETRA-ra kidolgozott szabványok adoptálhatóak amellet, hogy a COMINT ezeknél szintén lehetséges. A digitális infokommunikációs technológiák aszimmetrikus alkalmazása nem csak műveleti, de technikai szempontból is jelentős kihívást jelent a COMINT tevékenységére.[2] Az új típusú digitális rádiók nem csak kommunikációra, de pl. RCIED⁷ eszközök távvezérlésére is használhatók, így az EW⁸ számára is kihívást jelenthetnek [2]. Összességében vizsgálatuk időszerű, szükségszerű és indokolt.

A COMINT által megszerzhető információk

A Comint tevékenysége sokkal kevésbé szabályozott technikai értelemben, mint az LI, azonban a szükséges és kinyerhető információk köre véleményem szerint gyakorlatilag ugyan az, mint az LI esetében. Azonban van egy jelentős különbség közöttük, mégpedig az, hogy az LI szabványok előírják a szolgáltatók részére az átadási felületen⁹ (1. ábrán) a közlésinformációk szerviz vagy titkosító kódolástól mentes biztosítását, azaz a „nyers kommunikációtartalmat”, vagy annak kinyeréséhez szükséges kulcsokat [3]. A COMINT esetében azonban ezt a rendszernek kell megfejtenie, dekódolnia. A digitális átvitel alkalmazása különösen nagy kihívás elé állítja a kommunikációs felderítést, ezért fontos az újonnan megjelenő technológiák kutatása, megismerése, információ és műveleti tartalmuk maximális kinyerése érdekében. Így a digitális PMR rendszerekből elviekben a következők nyerhetőek ki, ha az átvitt bitfolyam titkosítás nélkül a rendelkezésünkre áll:

- A szolgáltatáshoz társított információk (service associated information), amelyekből az alkalmazott rádiószabványra és szolgáltatásaira lehet következtetni, a technikai paraméterek vizsgálata által, pl., konkrétan melyik digitális szabvány, milyen szintű rendszerben alkalmazva, milyen általános és egyedi szolgáltatásokkal társítva.
- A kommunikációhoz társított információk (communication associated information), amelyek metaadatok (kísérő adatok), a rádiókészülékek által használt egyedi azonosítók, a rádiókészülékek rendszeren belüli egyedi címei, a címzett(ek) és feladó relációjára, valamint a hívócsoportra vonatkozó adatok. A kommunikáció tartalmát és kódolását jelző adatok. Az időbeli adatok: a kommunikáció kezdetének és végének

⁶ Communication Intelligence – rádiófelderítés (a SIGINT részterülete)

⁷ Rádió-távírányítású improvizált robbanóeszközök - Radio Controlled Improvised Explosive Devices

⁸ EW: Electronic Warfare – Elektronikai Hadviselés

⁹ handover interface

időpontja. A készülékek státuszában, működésmódjában, a szolgáltatásban vagy annak paramétereiben beállt változások (pl. a hálózat hozzáférésehez), valamint egyéb egyedi információk.

- A kommunikáció tartalma (content of communication) amely beszéd vagy adatátvitel tartalmú lehet, ezen belül is különféle beszéd és adatkódolású formákban.
- A rádiókészülékek helyzetinformációi (location information), amelyek a kisugárzás helyszínére vonatkoznak és amelyek lehet mért adat pl. több iránymérés eredményeként előálló, de lehet közölt adat is, amennyiben a rádiókészülék beépített GPS vevője (vagy egyéb helymeghatározó rendszere) a rádiócsatornán ez társított vagy egyedi információként közli.

A COMINT számára jó hír, hogy míg korábban az analóg rendszereknél a társított információk köre meglehetősen szűk volt (különféle szelektív hívók, amelyek gyakran csak egy hívócsoporthoz azonosítanak), addig a digitális PMR-ek esetében ezek új értelmezést nyerhetnek, a készülékek, hívócsoporthoz, a kommunikációtartalom és a szolgáltatások egzaktabb azonosítása által. Így ezek kinyerése több műveleti értéket hordozhat magában.

A DIGITÁLIS PMR SZABVÁNYOK

A digitális PMR szabványkategóriának két nagy csoportja létezik, melyeket alapvetően a csatorna hozzáférési technika alapján lehet elkülöníteni, és amely egyben a csatorna sávszélességet is meghatározza. Így a gyakorlatban TDMA alapú szélessávú (12,5-25 kHz), valamint FDMA alapú keskenysávú (6,25-12,5 kHz) technológia csoportokat különböztetnek meg a szabványokban és a szakirodalmakban egyaránt (1. táblázat).

FDMA alapú	TDMA alapú
dPMR ¹⁰ , TS 102-490, TS 102-658 (EU)	DMR ¹¹ (EU) /2 időréses/
NXDN (USA)	
DCR ¹² , ARIB ¹³ standard T-98 (Japán)	
ARIB standard T-102 (Japán)	
P25 ¹⁴ (1 fázis TIA-102) (USA)	P25 (2. fázis) (USA) /2 időréses/
Tetrapol ¹⁵ (Francia)	TETRA ¹⁶ (EU) /4 időréses/
D-Star ¹⁷ (Japán amatőr)	PDT ¹⁸ (Kínai) /2 időréses/

1. táblázat. A jelenlegi elterjedtebb digitális PMR rádiószabványok (saját kutatás alapján)

¹⁰ dPMR: Digital Professional Mobile Radio – Amely a hagyományos 12,5 kHz-es analóg csatornát két 6,25 kHz-sávszélességű digitális rádiócsatornával váltja ki.

¹¹ DMR: Digital Mobile Radio – Amely a hagyományos 12,5 kHz-es analóg csatornát, 12,5 kHz-sávszélességű két időréses TDMA (időosztásos) digitális rádiócsatornával váltja ki.

¹² DCR: Digital Convenience Radio – az európai dPMR alapján készült Japán digitális rádiószabvány

¹³ ARIB: Association of Radio Industries and Business – Japán Üzleti és Ipari Rádió Társaság, a DCR kidolgozója

¹⁴ P25: Project 25 – az APCO (Association of Public Safety Communications Officials International) kezdeményezésére a TIA (Telecommunications Industry Association) által kidolgozott nyílt rádiószabvány, melyet a TETRA-hoz hasonló célokkal hoztak létre amerikaiában, de Kanadában és Ausztráliában is használt.

¹⁵ Tetrapol: A tetrától eltérő francia trónkólt szabvány

¹⁶ TETRA: Terrestrial Trunked Radio – európai trónkólt rádiószabvány

¹⁷ D-Star – Digital Smart Technologies for Amateur Radio, a Japán rádióamatőr szövetség (JARL) szabványa

¹⁸ PDT: Professional Digital Trunking – 2 időréses DMR-hez hasonló trónkólt rendszer

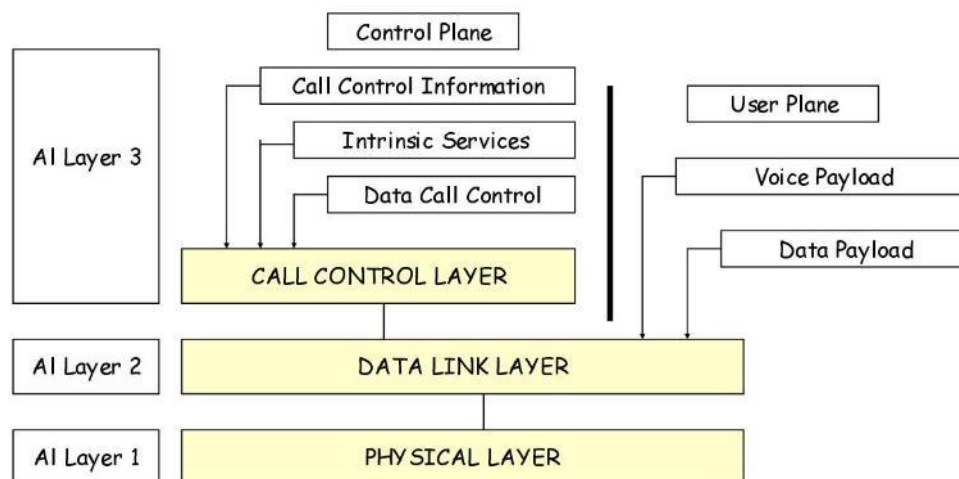
Az FDMA alapú digitális PMR szabványok

Ebben a cikkben a táblázat baloldali oszlopával az FDMA típusú szabványokkal kívánok foglalkozni. Összességében elmondható, hogy az FDMA technológiájú dPMR-hez hasonló szabványok hardver platformjai közelebb állnak a hagyományos FM rádiók adás-vétel technológiájához, így a TDMA-hoz képest kisebb komplexitású és olcsóbb rádiótechnológiát képviselnek [4]. Ez abból a szempontból is érdekes, hogy az eszközök legális és illegális elterjedését is jobban elősegíti az „olcsóságuk”. A kiindulási európai digitális szabványosítási tervek csak a 2 időres TDMA technológián alapultak volna, mivel a 6,25 kHz-es FDMA-t nem tartották megfelelően kivitelezhetőnek. Ennek ellenére az Icom és Kenwood cégek bebizonyították, hogy a 6,25 kHz FDMA egy praktikus választás, és közös megállapodás keretében fejlesztették ki a technológiát. Ezt az új digitális 6,25 kHz FDMA ötletet vette fel az ETSI, és fejlődött ki belőle az európai dPMR szabvány, amely nyílt, nem védett EU-szabvány. TS 102 490 [5] számon tették közzé az engedélymentes, és TS 102 658 [6] számon az engedély köteles FDMA protokoll specifikációját. Jelenleg a keskenysávú szabványkategóriának több más országbeli pl. japán: ARIB standard T-98 [7], T-102, valamint amerikai: NXDN TS-1 [8], TS-2 implementációja is létezik, amelyek nagyrészt az európai dPMR szabványtól „csak” a moduláció paramétereiben, valamint a keretszervezés és a logikai csatornák felépítésében térnek el [5][8][9], de emiatt nem teljesen kompatibilisek.

Ezekről jelentősebb eltérést mutat a trónkölt P25, és Tetrapol. A japán D-Star pedig egy rádióamatőr szabvány. Ezek mindegyike egymástól különböző egyedi megoldást takar a dPMR-től eltérő modulációval és keretszervezéssel. Ezek globális jelentősége jóval csekélyebb mint a dPMR-é, így ez utóbbi szabványcsalád változatait tekintem át részletesebben. A vizsgálat során csak a jelek vételéhez szükséges mozzanatokot vizsgálom, mivel a felderítés szempontjából csak erre van szükség a COMINT feladatok végrehajtásához.

A dPMR szabványok általános protokoll felépítése

A dPMR szabványcsalád protokoll felépítése az egyes szabványokban hasonló, ahol 3 szintű rétegben, rétegenként eltérő funkciókat valósítanak meg, az alábbi, 2. ábrának megfelelően. A protokoll felépítés eltér az OSI 7 rétegű modelltől, amennyiben itt csak 3 réteget használnak.



2. ábra A dPMR protokoll felépítése [6]

A rádiócsatornán (Air Interface) a fizikai rétegen (Physical Layer), az adatkapcsolati rétegen (Data Link Layer) és a hívásvezérlő rétegen (Call Control Layer) keresztül megvalósított rádiófunkciók a következők:

A fizikai rétegen keresztül valósul meg: az RF jel vétele, a 4FSK demoduláció, a bit-, és szimbólum helyreállítás, a frekvencia és szimbólum szinkronizáció.

Az *adatkapcsolati rétegben* kerülnek végrehajtásra a következők: a csatorna dekódolása hibajavítása: de-scrambling, bitsorrend-visszarendezés¹⁹ (az adásnál történt bitszétkenés inverz folyamataként) de-FEC²⁰, és de-CRC²¹); a szuperkeretek és keretek szinkronizálása visszaállítása, burst és paraméter visszaállítás; a kapcsolat (forrás és cél) címének megállapítása (a hívásvezérlő rétegen keresztül); felületet biztosít a beszédalkalmazások (beszéd adatok) számára a fizikai réteg irányába; adathordozó szolgáltatásokat biztosít, a jelzésrendszer és/vagy felhasználói adatok cseréjére a hívásvezérlő réteggel és végül a dPMR esetében automatikus sajátazonosító, (Own-ID) és csoportazonosító (Group-ID) érzékelést, míg az NXDN esetében automatikus RAN (Radio Access Number) érzékelést biztosít.

A *hívásvezérlő rétegben* (Call Control Layer) történik a jelzésátvitel a végpontok között: az egyéni vagy csoporthívások, kezelése, a cél címzése, a hívásvezérlés (hívások létrehozása, fenntartása, lezárása), valamint a belső szolgáltatások támogatása: pl. késői hívásbelépés²², hívásátírányítás stb. kezelése.

A dPMR alapú digitális PMR szabványok alapsávi jelfeldolgozása

A fenti protokollnak megfelelően létre lehet hozni egy valódi jelfeldolgozó struktúrát. A keskenysávú dPMR adásmódok vételi mechanizmusa teljesen hasonló, azonban a 4FSK demodulátor frekvenciaeltolás paramétereik különböznek egymástól, valamint a keretszervezésben és a logikai csatornák típusában és felépítésében is vannak eltérések. A következő 2. táblázat a 4FSK moduláció paraméterek eltéréseit foglalja össze. [4],[5],[8],[9]

		4 FSK frekvencia eltérés [Hz]-ben				
Dibit	Szimbólum	dPMR 4800 bps	NXDN		ARIB T-98 4800bps	ARIB T-102 4800 bps
			4800 bps	9600bps		
01	+3	+ 1050	+ 1050	+ 2400	+945	+990
00	+1	+ 350	+ 350	+800	+315	+330
10	-1	- 350	- 350	-800	-315	-330
11	-3	- 1050	- 1050	-2400	-945	-990

2. táblázat. A dPMR szabványok 4 FSK frekvencia-eltérések összehasonlítása

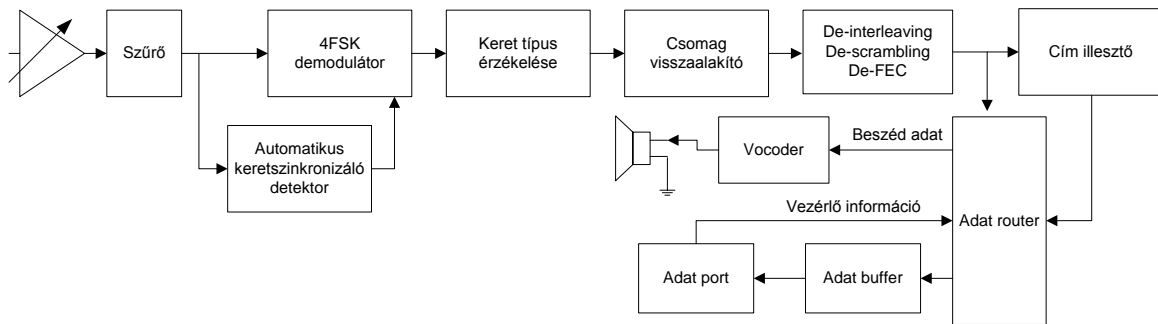
Ennek ellenére a vétel folyamata – mely a felderítés szempontjából leginkább érdekel bennünket – egymástól jól elkülöníthető részfeladatok sorozatára bontható fel. A dPMR típusú szabványok digitális vételéhez a 3. ábrán látható univerzális felépítésű rádióvevő alkalmazható [10], amelyik csak az alapsávi jelfeldolgozás folyamatát mutatja be, az RF vevőrészek ismertetése nélkül.

¹⁹ de-interleaving – a bitszétkenés inverz folyamata, ahol helyreállítjuk a bitek eredeti sorrendjét (ennek az a célja, hogy az átvitel során fellépő csoportos hibák, a visszarendezés után ne egymás mellé essenek, így a csoportos hibákat különálló bithibákká alakítjuk, aminek a korrigálása sokkal egyszerűbb és hatékonyabb)

²⁰ Forward Error Correction – hibakorlátozó kódolás inverz művelete a hiba ellenőrzési és javítási eljárása

²¹ Cyclic Redundancy Check – hibadetektáló kódolás inverz folyamata, a CRC ellenőrzése

²² Late entry call: /a dPMR szolgáltatása/ amikor egy már kisugárzott adást nem az elejétől veszünk, hanem közben lépünk be a kommunikáció vételébe.



3. ábra A dPMR vevő általános logikai felépítése [10]

Ha különféle szabványok vételére akarjuk alkalmazni ezt az elrendezést, akkor a 4FSK demodulátor utáni részek (az egyes különálló blokkok) feldolgozási paramétereit kell megváltoztatni az egyes eltérő szabványoknak megfelelően. Erre kézenfekvő megoldást a szoftverrádió (SDR) technológia jelenti, azonban az alkalmazott hardvertől függően ennek kivitelezése a gyakorlatban többféle módon történhet: hagyományos mikroprocesszorral, DSP²³, FPGA²⁴, FirmAsic²⁵ technológia alkalmazásával, amit jelen cikk keretei között nem vizsgálunk.

A vételi folyamat eredményeként az RF vevő analóg limiter/diszkriminátor kimenetéről az információt hordozó analóg jel egy állítható szintű erősítőn keresztül egy szűrőre kerül. A szűrő emelt-koszinusos karakterisztikájú, amelyeket gyakran használnak a digitális modulációk jelfeldolgozásában, mivel minimalizálni lehet vele a szimbólumok közötti áthallást (ISI - Intersymbol Interference).

Keretszinkronizálás érzékelése és a demodulálás

A jel a szűrőről az automatikus keretszinkronizáló detektor (AFSD - Automated Frame Sync Detector) blokk bemenetére kerül, amelyik kinyeri, elvégzi a szimbólum és keretszinkronizációt. Amint az AFSD elvégezte a keretszinkronizációt, kinyerte az időzítési adatokat, átadja a demodulátornak az időzítési és szimbólum szint információkat, amelyek ez alapján elkezd kinyerni az ezt követő adat biteket, azaz demodulálja a jelet. A forgalmazás végét előre lehet jelezni a vett frekvencia kontrollcsatornájának folyamatos figyelésével, mely az egyes szabványok esetében más és más lehet (lásd később). Valamint detektálni lehet a kapcsolat bontása speciális keret együttesének vételével (ha nem az előző módszerrel valósul meg). Így a kommunikáció végén újra lehet indítani a keretszinkronizáció keresését.

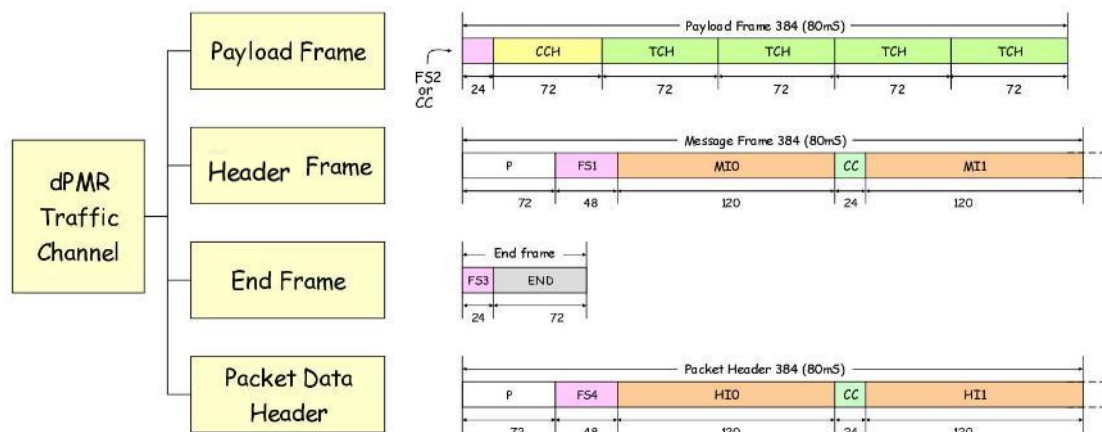
A dPMR keretszervezése, logikai csatornái, címzési módjai

Ahhoz, hogy a további áramkörök működését érteni lehessen szükséges megvizsgálni a rendszerben alkalmazott keretszervezési elveket. A dPMR szabványban annak ellenére, hogy FDMA szabványról van szó, a digitális átvitel miatt az információközlés a rádiócsatornán egy előre definiált bitstruktúra és időzítés szerint történik. Ennek megfelelően a GSM és egyéb digitális rendszerekhez hasonlóan az átvitel ún. keretekbe (frame) és superkeretekbe (superframe) szervezve bonyolódik. A dPMR rendszerben alapvetően négyféle keretformátum alkalmazott az átvitel során. Ezek ún. logikai csatornákból épülnek fel (különböző színek szimbolizálják), ezáltal különíthető el az egyes keretek felépítése és tartalma, ami a következő 4. ábrán látható:

²³ DSP: Digital Signal Processor

²⁴ FPGA: Field Programmable Gate Array

²⁵ FirmAsic: ún. Function Image-ek betöltésével konfigurálható a vevő képessége és működés módja

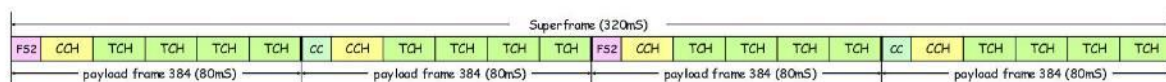


4. ábra A dPMR keretek felépítése [6]

Az egyes keretek a következők: 1. üzenet keret (Payload Frame), 2. bevezető keret (Header Frame), 3. Vége keret (End Frame), 4. Adat csomag fejléc (Packet Data Header). Minden keret hossza 80 ms, ami 384 bit átvitelét teszi lehetővé, ettől egyedül a 3. sz. vége keret tér el, amely mindössze csak 96 bit és a kommunikáció végének jelzésére szolgál.

Az átvinni kívánt közlésinformációt az 1. sz. üzenet keretek sorozataival visszük át, amelyben a 4 db 72 bites blokk (TCH - Traffic Channel) hordozza a hasznos közlemény információt. Ezt a szintén 72 bites vezérlő csatorna (CCH-Control Channel) valamint a 24 bites keret-szinkronizációt biztosító FS2 (Frame Synchronisation) rész vagy az un. csatorna kód (CC-Channel Code, /korábban szín kódnak-Colour Code nevezték /) vezeti be.

A közlemény (audio vagy adat) hosszától függően üzenet keretek sorozatából szuper kereteket (SF- Superframe) hoznak létre, amelynek a felépítése a következő: A 4 db üzenet keretet tartalmazó összesen 320 ms hosszúságú 1536 bites jelsorozatban, minden páros keret csatorna kóddal (CC), illetve minden páratlan keret FS2 típusú keretszinkronizáló kóddal kezdődik. A dPMR esetében ez a legnagyobb hosszúságú szabályozott bitstruktúra, amelyből a közlésinformáció hosszának megfelelő számú db-ot visznek át egymás után a rádiócsatornán.

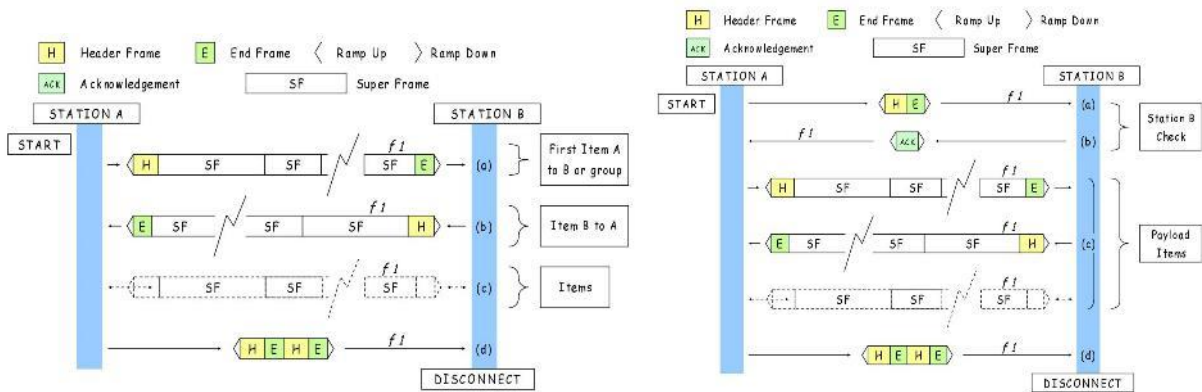


5. ábra A dPMR szuperkeretek felépítése [6]

A kommunikáció felépítése, azaz a keretek és szuperkeretek egymásutánisága, sorrendje az un. keretszervezés, egyrészt a dPMR szabvány szintjétől (mode 1. 2. vagy 3.) másrészt a kommunikáció tartalmától (beszéd, adat) is függ. A 6. ábrán tipikus keretszervezések láthatóak a mode1. szabványú közvetlen (peer-to-peer) beszédátvitel során. A TS 102 490 kétféle működési módot definiál a dPMR rádiók részére. A bal oldali ábra az un. ISF²⁶ gyárilag felprogramozott módú (out of the box) kommunikáció felépítését mutatja, míg a jobboldali ábra az un. CSF²⁷ menedzsel módú kommunikáció menetét ábrázolja. Az utóbbi felépítése a kapcsolatfelvétel módjában tér el a gyári állapotútól. A 6. ábra jobb oldalán látható, hogy a kommunikáció kérését, ami egy bevezető és vége keret együttese (Header+End frame), egy nyugtázó (ACK) üzenettel jelzi vissza a megszólított készülék, ami egy speciális tartalmú bevezető keret (Header Frame). Így gyakorlatilag egy kézfogás (handshake) jön létre a készülékek között.

²⁶ ISF: Initial Services and Facilities - Kezdeti szolgáltatások és eszközök (a gyárilag beállított állapot)

²⁷ CSF: Configured Services and Facilities - Konfigurált szolgáltatások és eszközök (a gyári állapottól eltérő utólag felprogramozott állapot)



6. ábra A dPMR közvetlen kommunikáció felépítése [6]

Az ISF és CSF működési módoknak megfelelő kétféle címzési eljárást is definiál a TS 102 490 szabvány. Az egyik a 24 bites bináris, a másik a 7-digites BCD²⁸ módú címzési eljárás. Az ISF módban kizárólag a bináris címzés használatos, de CSF módban mindkét eljárás megengedett. Az alkalmazott címzési eljárás megállapítása felhasználható bizonyos műveleti adatok megállapítására. Például a BCD módú címzés egyértelműen bizonyítja, hogy a készüléket átprogramozták. Az ún. csatorna kód (CC), melyet kódolatlanul visznek át a rádiócsatornán – egyértelműen az alkalmazott frekvenciához rendelt bináris kód – szintén összefüggésben van a címzési eljárással. Ugyan annak a frekvenciának (16 db engedélyhez nem kötött frekvencia) más a CC kódja ISF („A” módú címzés) és CSF („B” módú címzés) üzemmódú készüléknél. Ez szintén lehetővé teszi a beállított működési mód, továbbá az alkalmazott frekvencia beazonosítását is. 31 db további bináris CC kódot tart fenn a szabvány, 31 további felhasználó által programozható frekvencia azonosítására (CSF módú készüléknél). [5]

A dPMR kerettípus érzékelése, címillesztés és a vétel folyamata

Egy dPMR hívás mindig egy ún. bevezető kerettel (header frame) kezdődik, amelyik azonos felépítésű 2. vagy 4. sz. keret lehet, amelyek abban különböznek, hogy FS1 vagy FS4 típusú keretszinkronizáló kódot tartalmaznak. A bevezető keret mindig egy 72 bites bevezető bitsorozattal (Preamble) kezdődik, amelyet a 48 bites keretszinkronizáló csomag (FS) követ. A preamble bitek funkciója, az, hogy segítsék megtalálni a 3. ábrán látható „automatikus keretszinkronizáló detektor” (AFSD) blokknak, az FS1 vagy FS4 bitek elejét. A közleményeket ezután szuperkeretekbe szervezett üzenet keretekben viszik át, amelyekben minden 2 keret FS2 típusú keretszinkronizáló tartalmaz. Az AFSD blokk, folyamatosan érzékeli az FS kódok típusát, így egyértelműen eldönthető, hogy mi „zajlik” éppen a rádiócsatornán, illetve hogy a keretszervezés hol tart az időzítés folyamatában. Az üzenet keretek szuperkereten belüli számát, azaz a keretsorszámot a CCH tartalmazza (lásd a 3. táblázat FN mezőjét). Az FS1 vagy FS4 detektálása éppen egy beszéd vagy adat közlemény elejét, az FS2 pedig egy már folyamatban lévő kommunikáció közepét (late entry call) jelzi. Amint a keretszinkronizálást elértük, a 4FSK demodulátor bekapcsol, és az utána lévő blokkok veszik át a szerepet, az AFSD kikapcsolásra kerül. A demodulátor utáni blokkok elkezdik helyreállítani az eredeti üzenet bitstruktúráját. A feladat ez után az, hogy eldöntsük, nekünk szól-e az üzenet vagy sem. Azaz a címzés ellenőrzése, amit a 3. ábra szerinti címillesztő blokk végez el.

Ennek érdekében FS1/FS4 vétele esetén értelmezésre kerül, a bevezető keret MI0 és MI1 (illetve adatfejléc esetén: HI0 és HI1) információtartalma, melyet a 3. táblázat bal oldala szemléltet. Először ennek „F” (kommunikációforma) mezője kerül értelmezésre, amely megmondja, hogy egyéni vagy csoporthívásról van szó. Csoporthívás (All Call) esetén, a vett

²⁸ BCD: Binary Coded Decimal - binárisan kódolt decimális számformátum. Ennek az alfanumerikus kijelzővel rendelkező rádiók készülékről történő kézi címbevitelkor van jelentősége

jel feldolgozásra kerül. Direkt (peer-to-peer) hívás esetén a hívott ID mező (Called ID - a hívott állomás azonosítója) összevetésre kerül a készülékünk saját ID azonosítójával (Own ID - ami nem egyezik meg az ID2 mező értékével, mert az a hívó fél saját azonosítóját jelenti). Ezek egyezése esetén az üzenet nekünk szól, és feldolgozásra kerül, ha nincs egyezés eldobjuk az üzenetet.

Az ID-k kialakítása a következő elvet követi. ISF módban egyszerűsített címzést alkalmaznak (azaz nincs külön egyedi és csoportcímzés, csak közös azonosító): a 24 bites címrészt 2 részre bontjuk, az első 16 bit fix 1-eseket tartalmaz, az utána következő 8 bit, az un. Common ID (közös azonosító), amely az analóg rendszerek CTCSS²⁹/DCS³⁰ szelektív hívó kódjának felel meg. Itt a beállítható értékek 1-254-ig az egyedi rendszerkódot jelentik, a 255-ös érték az un. All Call (mindenki hívása), azaz a 255-ös ID-jű üzenet a beállított saját ID-től függetlenül mindig dekódolásra kerül.

CSF módban a rádiók egyedi címmel rendelkeznek, melyek nem azonosítanak csoport kódot, hiszen ilyenkor egy ismert csoport részeként vesznek részt a kommunikációban. A csoporthívást a rendszerben lévő rádiók részhalmazát jelentő egyedi címek definiálásával oldják meg ekkor.

FS2 vétele esetén (késői belépéskor) az üzenet keretek CCH vezérlő csatornájában szintén megtalálható az „F” mező értéke, valamint a hívott készülék ID kódja (3. táblázat jobb oldala). Ezek ismeretében eldönthető, hogy nekünk szól-e az üzenet vagy sem. Ha nem akkor az AFSD folyamata újra indul, ha igen akkor megkezdődik a helyreállított bitsorozat további feldolgozása. A további feldolgozás menetének eldöntésében is 3. táblázat mezőire támaszkodhatunk.

A következő táblázatok az MI0-MI1, HI0-HI1, valamint a CCH logikai csatorna mezőinek értelmezését, és hasznos bitjeinek számát mutatják.[5]

MI0	HT	fejlec típus	4	CCH 41 bit + kódolás	FN	keret száma (1,2,3,4)	2
MI1	ID0+1	hívott ID	24		FN1: ID0	hívott ID (felső 12 bit)	12
HI0	ID2+3	saját ID	24		FN2: ID1	hívott ID (alsó 12 bit)	
HI1					FN3: ID2	Saját ID (felső 12 bit)	
72 bit	M	kommunikációs mód	3		FN4: ID3	Saját ID (alsó 12 bit)	
+	V	verzió	2		M	kommunikációs mód	3
kódolás	F	kommunikációforma	2		V	verzió	2
	RES	fenntartott	2		F	kommunikációforma	2
	CI	hívás információ	11		RES	fenntartott	2
					SLD	lassú adat	18

3. táblázat A dPMR bevezető keretek MI-HI mezői és CCH csatorna bitjeinek értelmezése

Az „M” (kommunikációs mód) mezőből kiderül, hogy milyen típusú információt viszünk át az üzenet keretek TCH blokkjaiban a rádiócsatornán: csak beszéd, beszéd+lassú adat³¹, csak adat FEC-nélkül /T1/, csak adat FEC-el /T2/, csomagkapcsolt adat ARQ eljárással /T3/³², beszéd és csatolt adat. Hanghívás esetén az adatokat átadjuk a beszéd-szintetizátornak (Vocoder). A „V” (version - változat) mezőből megtudhatjuk, hogy az üzenet Ambe+2 (TS 102 490 szerinti), RALCWI (olcsó, licenz nélküli), vagy Chinese DRA (nyelvspecifikus) beszédkódolással, esetleg valamilyen gyártó specifikus kódolással készült. [6],[10] Az egyes beszédkódolók árban jelentősen eltérhetnek, valamint nyelvi specifikumaik is vannak. A „V” mező értékéből szintén lehet műveleti adatokat megállapítani, pl. távol-keletről behozott készülékre következtetni, még abban az esetben is, ha nem rendelkezünk a szükséges beszédkódolóval.

Különálló adathívás (T1, T2, T3), illetve valamilyen társított adat átvitele esetén a visszaállított adatfolyam 3. ábra szerinti adatportra (adatbuszra) kerül kiírása, az adatbufferen

²⁹ CTCSS: Continuous Tone Coded Squelch System – folyamatos alacsony frekvenciával kódolt zajzár

³⁰ DCS: Digital Coded Squelch – digitálisan kódolt zajzár

³¹ a CCH vezérlőcsatorna SLD –Slow Data mezőjében visszük át

³² csak CSF működési módban lehetséges

keresztül. A CCH vezérlőcsatorna SLD (Slow Data) mezőjében lassú adatként átvihetünk státusz üzeneteket, előre megírt üzeneteket, szabad szöveges üzeneteket, rádió által generált adatokat, rövid fájlokat, felhasználó által előre definiált adatokat, melyek több keretben is átvihetőek.

Csak a bevezető keretekben meglévő CI (Call Information) mező további változó tartalmú kiegészítő adatokat tartalmaz a bevezető keret típusáról, a nyugtázó keret minőségéről (ACK /elfogadás/, NACK /adat hiba, kérés újraküldés vagy kérés megtagadás tényéről), valamint az SLD mező tartalmáról. Így megtudható hogy T1/T2/T3 adatot viszünk át, illetve T3-nál a keretméretet (80-160-240-320 ms illetve 288-672-1056-1440 bit /kódolás nélküli/) és a keretszám (max. 8 keretben) is.

A HT (fejléc típusa - Header Type) mezőből megtudhatjuk, hogy a fejlécet mire használjuk, azaz, hogy milyen információ következik utána.

A hasznos információ tartalom átvitelét követően, a feldolgozás folyamata a kommunikáció befejezése (disconnection request) speciális keretcsomag 4 db egymást követő bevezető és vége keret (lásd 6. ábrán) érzékelésével leáll, és az AFSD folyamata újraindul.

Az NXDN egyedi megoldásai

Az amerikai NXDN protokollt 2005-ben mutatta be az Icom és a Kenwood (jelenleg JVC-Kenwood) cég és 2006-ban jelentek meg az első eszközök. 2012-ben a szabványt nyilvánossá tették. Hasonlóan a dPMR-hez 384 bites (80 ms) kereteket alkalmaznak, melyből 3 féle definiált a szabványban. 1. hangkommunikációs keret, 2. adatkommunikációs keret, és 3. adatkommunikációs burst keret. A dPMR-től eltérő nevű logikai csatornákat használnak, de funkciójukat tekintve hasonlóak. A hangkommunikáció átvitelére a következő keretformátumokat alkalmazzák.

bits:	>24	20	16	60				144							144					
	P	SW	LI	SACCH	FACCH1				FACCH1											
		SW	LI	SACCH	TCH1	TCH2	TCH3	TCH4												
		SW	LI	SACCH	TCH1	TCH2	TCH3	TCH4												
		SW	LI	SACCH	TCH1	TCH2	TCH3	TCH4												
		SW	LI	SACCH	TCH1	TCH2	TCH3	TCH4												
	Repeat until PTT released....																			
		SW	LI	SACCH	FACCH1				FACCH1											

7. ábra Az NXDN beszédátvitel keretek felépítése [12]

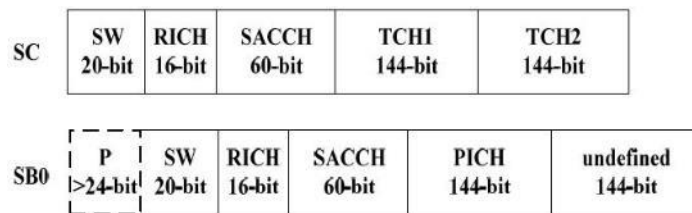
Az első (start) üzenetkeretben (ami a dPMR bevezető keretének felel meg) az SW-t egy P (Preamble) bevezető rész előzi meg, amelyik jobb keret-szinkronizációt biztosít. Ezután egy 20 bites SW (Synchronization Word) keretszinkronizáló blokk következik, amit egy 16 bites összeköttetés információs csatorna (LICH - Link Information Channel) követ. Az LICH definiálja a keretformátumot és az üzenet típusát (ami TCH és FACCH lehet). Ezután egy 60 bites SACCH (Slow Associated Control Channel - lassú társított vezérlőcsatorna) következik, ami a dPMR CCH vezérlő csatornájához hasonló funkciójú és az üzenet keretekben is megtalálható. Az első (start) keretben ezután két darab 144 bites FACCH1 (Fast Associated Control Channel - gyors társított vezérlőcsatorna) következik, ami a dPMR MI-HI információs csatornához hasonló funkciókat tölt be (lásd 3. táblázat).

A bevezető keret után egy 4 keretből álló szuperkeret következik. Ennek kereteiben visszük át a beszédinformációkat ahol az FACCH1 helyén 4x72 bites TCH (Traffic/Payload Data – üzenet blokkokat) viszünk át. Ha több szuperkeret szükséges az átvitelhez azok az átvitel végéig ismétlődnek, majd a bevezető keret formátumának megfelelő, de más kommunikációtartalmú (vége keret) jelzi a kapcsolat végét, ahogyan ez a 7. ábrán látható. A címzéshez használt 6 bites RAN (Radio Access Number – rádió hozzáférési szám) értéke az SACCH/FACCH1 csatornák

„SU” mezőjében definiált, amelyet a saját-RAN (Own-RAN) –al összehasonlítva eldönthetjük, hogy nekünk szól-e az üzenet. Az egyéni és csoporthívás (All Call) egyaránt értelmezett, mely utóbbinál a RAN értéke zéró. A fentieknek megfelelően az NXDN jelek vételéből hasonló információtartalom nyerhető ki, mint a dPMR esetében. A vétel folyamata a 3. ábrának megfelelő sorrendű elrendezéssel realizálható.

A DCR egyedi megoldásai

A japán ARIB standard T-98 szabványleírás 2008-as az eredeti szabvány, 2012. decemberi a legújabb verziója, amit a dPMR szabvány alapján fejlesztettek ki. A DCR rendszerben, eltérően a dPMR-től csak 2 féle kerettípus létezik. Az egyik az SB0 (Synchronous Burst 0) típusú, ami a kommunikáció kezdetét jelzi, a másik az SC (Service Channel) típusú, ami magát a hasznos információt viszi át. A keretfelépítés a következő 8. ábrán látható.



8. ábra A DCR T-98 keretek felépítése [9]

A keretek 80 ms hosszúak, és 4 db keret alkot egy szuperkeretet, hasonlóan a dPMR-hez. A logikai csatornák nevei eltérőek. Az RICH (Radio Information Channel – rádió információs csatorna) felel a logikai csatornák és a kommunikációs háttér azonosításáért. A hasznos tartalma 7 bit. A 36 bites hasznos tartalmú SACCH (Slow Associated Control Channel - lassú társított vezérlőcsatorna) a dPMR CCH vezérlő csatornájához hasonló funkciójú logikai csatorna. Az SB0 tartalmaz ezeken felül egy 144 bites PICH (Parameter Information Channel - paraméter információs csatorna) nevű blokkot, ami a dPMR MI-HI információs csatornához hasonló funkciókat tölt be (lásd 3. táblázat), valamint egy 144 bites padding részt (itt nem ismétlik meg kétszer a PICH tartalmát úgy, mint az MI0-MI1 esetében a dPMR-nél). A PICH tartalmaz egy 36 bites CSM (Call Sign - hívójel) mezőt. Ez a rádiók egyedi 9 digités sorozatszámát tartalmazza BCD kódolásban, amit minden SB0 keretben kisugároznak, azonban a címozonosításhoz nem használnak fel [11]. Az SC keret RICH csatorna kommunikációs mód (Communication Mode) mezője definiálja a 2x144 bites TCH (Traffic Channel - forgalmi csatorna) blokkok tartalmát, amelyben beszédinformációt, kódolatlan adatot, vagy FEC kódolt adatot visznek át a rádiócsatornán. Nem lehetséges azonban a dPMR-hez hasonló beszéd és adat vegyes átvitele jelenleg.

Minden DCR hívás, egy SB0 kerettel kezdődik, és négy darab SC kerettel folytatódik, melyek egy szuperkeretet alkotnak. Az SB0 elején lévő (P-Preamble) rész az utána következő 20 bites szinkronizáló szóval (SW - Synchronization Word) együtt alkotja a dPMR-nél FS1-nek nevezett keretszinkron logikai csatornát. A kommunikáció kezdetét az AFSD a P utolsó 18 bitje + az SW 20 bitje együtteseként próbálja megtalálni a beérkező bithalmazban. Természetesen itt is van lehetőség a kommunikáció közbeni szinkronizálásra, (late entry - késői belépés) esetén. Ekkor egyből egy SC kerettel kezdődik a vett jel, azaz csak a 20 bites SW-ből lehet megállapítani a keretszinkront, amit ekkor FS2 ként definiálhatunk. Ekkor legalább 2 sikeres FS2 detektálás engedélyezi a demodulátor aktiválását, a keretszinkron elérése után, hasonlóan a dPMR-hez.

A keretszinkron elérése után el kell dönteni, hogy nekünk szól-e az üzenet. A DCR rendszer is támogatja mind az egyéni, mind a csoport címzés alkalmazását, melynek dekódolását az SACCH csatorna 9 bites felhasználói kód (User Code) valamint információ típus (Information Type) mezőivel oldanak meg, hasonlóan a dPMR „called ID” és „F” mezőjéhez. Itt vagy a User

Code és Own ID egyezés vagy All Call detektálása esetén történik meg a további feldolgozás engedélyezése, a TCH-k tartalmának megfelelően.

Az információtartalom átvitele után a kommunikáció végét az SACCH csatorna Information Type nevű mezőjében jelzik, egy hívás vége (Call End) kódtartalmú üzenettel. Ezután a keretszinkronizáció folyamata újraindul.

A fentieknek megfelelően a DCR jelek vételéből hasonló információtartalom nyerhető ki, mint a dPMR esetében. A vétel folyamata a 3. ábrának megfelelő sorrendű elrendezéssel realizálható.

ARIB standard T-102 szabványleírás megoldásaiban nagymértékben hasonlít a T-98-hoz, azonban itt 3 kerettípus létezik (hang, adat, burst adat) a keretszervezése pedig nagymértékben az NXDN-hez, mivel ugyan azok a cégek dolgozták ki. A logikai csatornák nevei ugyan azok, és hasonló a vevőrealizáció is. A kinyerhető információkra a fentebb leírtak igazak.

A KOMMUNIKÁCIÓS ELLENŐRZÉSSEL KINYERHETŐ INFORMÁCIÓK

A rádiók egyedi modulációs paramétereiből kézi, vagy automatikus jelelemzés segítségével megállapíthatók a 2. táblázatban összefoglalt 4FSK frekvencia-eltérések [13], melyből más egyéb paraméterek azonosítása után következtetni lehet az adás szabványára. A rádiók egyedi címzési módjával kapcsolatban többféle következtetés is levonható. Egyrészt a csatorna kódból CC, valamint az ISF és CSF módú címzésből következtetni lehet a rendszer működési módjára, közvetve arra, hogy felprogramozták-e a készüléket, vagy gyári állapotban van. Az egyedi rádiócímek csoport és rendszerazonosító kódok megállapításából pedig egyértelműen azonosítani lehet a kommunikációban résztvevő feleket.

A cikkben leírt CC és ID illetve (a többi szabványnál az ennek megfelelő adatok pl. DCR-nél: User Code) azonosítása, azaz a címegezés vizsgálata egy normál rendszerben alkalmazott eljárás. Egy erre a célra alkalmazott COMINT vevőben nem csak a nekünk szóló, hanem a CC-től és ID-től (kódotól és azonosítótól) függetlenül bármely üzeneteket szeretnénk venni, (rögzíteni), amellet hogy a CC az Own ID valamint a Called ID (az ezeknek megfelelő más szabványú adatok) felhasználhatók a vett/rögzített üzenetek azonosítására, egymáshoz rendelésére, időbélyeggel történő ellátás esetén pedig az időrendiség megállapítására is.

Ez jóval több műveleti információt hordoz magában, mint az analóg rádiók vételéből származó adatok. A 3. táblázat tartalmát kiértékelve további információkhoz juthatunk a kommunikáció formája, módja, tartalma valamint az alkalmazott beszédkódolás tekintetében, még akkor is, ha nem tudjuk visszaállítani az eredeti hangüzenetet vagy adattartalmat. Az átvitt információtartalom kódolását jelen cikk keretei közt nem vizsgáltam, csak azt tekintetem át, hogy elméletben milyen adatok ismeretét teszi lehetővé a rendszerek vizsgálata, jeleinek vétele. A kódolt adatokból az információ visszanyerése adatfeldolgozó eljárásokkal dekódolással lehetséges, amely további vizsgálatokat igényel. Mivel azonban nyílt szabványokról van szó, ezért az összes kódolási folyamat ismert és publikus folyamattal és paraméterekkel rendelkezik, ami elviekben nem jelenthet akadályt, kivéve, ha kiegészítő titkosítást is alkalmaznak az átvitelben.

ÖSSZEGZÉS

Bemutattam, hogy a törvényes ellenőrzés nem alkalmazható az általam vizsgált PMR rendszerek nagy részének esetében, kivéve akkor, ha azok valamilyen hálózati infrastruktúrához kapcsolódnak, vagy egyéb távközlési rendszerek irányába is biztosítanak kommunikációt. Az engedély nélkül üzemeltethető, illetve az illegálisan alkalmazott eszközökre rendszerekre ez hatványozottan érvényes, így ezek esetében az egyedüli módszer az ellenőrzés kivitelezésére a kommunikációs felderítés. A cikkben, azok működés módjának bemutatásán keresztül összefoglaltam a COMINT által a dPMR típusú rendszerekből

kinyerhető technikai és műveleti információkat, melyek jóval pontosabb azonosítást tesznek lehetővé az analóg rendszerekhez képest, mind a kommunikáció módja, tartalma, mind a résztvevő felek, illetve az alkalmazott rádiókészülékek azonosító és technikai adatai tekintetében. Mivel e témában még nem jelent meg magyar nyelvű szakirodalom, így mindenképpen hiánypótló a jelen cikk, mely a téma bevezető publikációjával [14] együtt jó alapot képez a kérdéskör további vizsgálatához, kutatásához. A téma aktualitását is mutatja, hogy a TS 102 490 szabvány legújabb verziója V.1.8.1 2014. júniusban jelent meg.

Felhasznált irodalom

- [1] Rupert Thorogood, Charles Brookson: Lawful Interception, Telektronikk - Privacy in Telecommunications, Volume 103 No. 2. 2007., ISSN 0085-7130, Telenor 2007
http://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/T07_2.pdf (2014. 05. 05.)
- [2] Haig Zsolt, Kovács László, Ványa László: Az elektronikai hadviselés, a SIGINT és a cyberhadviselés kapcsolata, FELDERÍTŐ SZEMLE 10. évf.: (1-2.sz.) pp. 183-209.
<http://www.kfh.hu/hu/letoltes/fsz/2011-1-2.pdf> (2013. 04. 23.)
- [3] ETSI TS 101 331 V1.4.1 (2014-02) , Technical Specifications, Lawful Interception (LI) Requirements of Law Enforcement Agencies
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101300_101399/101331/01.04.01_60/ts_101331v01_0401p.pdf, (2014. 05. 10.)
- [4] CML Microcircuits (White Paper): NXDN High Integration SDR Approach (2014. 04.08.)
http://www.cmlmicro.com/products/CMX7131_CMX7141_Digital_PMR_Processors/ (2014. 05. 10.)
- [5] ETSI Standard TS 102 490 V1.7.1 (2013-02): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Peer-to-Peer Digital Private Mobile Radio using FDMA with a channel spacing of 6,25 kHz with e.r.p. of up to 500 mW. ETSI 2013. 02.
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102400_102499/102490/01.07.01_60/ts_102490v01_0701p.pdf, (2014. 05. 20.)
- [6] ETSI Standard TS 102 658 V1.2.1 (2009-09): Digital Private Mobile Radio (dPMR) using FDMA with a channel spacing of 6,25 kHz. ETSI 2009.
- [7] Digital Convenience Radio Equipment for Simplified Service, ARIB STD-T98 1.3
http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T98v1_3.pdf (2014. 05. 25.)
- [8] NXDN Technical Specifications TS 1-A Version 1.3, NXDN forum, 2011. November
http://radioscanner.pl/wiki/images/f/f7/NXDN-TS-1-A_v0103.pdf (2014. 03.25.)
- [9] Yufeng Li, Jun Yang, Qingyang Guan: Research on Channel Codec of DCR System Based on CMX7141, Communications and Network, 2013, 5, p. 286-291
<http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=39378> (2014. 05. 20)
- [10] CMX8341 Digital PMR (dPMR) Baseband Processor Datasheet, CML Microcircuits, 2011. june
http://www.alcom.nl/binarydata.aspx?type=doc/CML_CMX8341FI.pdf (2013. 10. 08.)
- [11] CMX7131/CMX7141 Digital PMR Processor DCR Operation, Datasheet, CML Microcircuits, 2013. April
http://www.cmlmicro.com/products/CMX7131_CMX7141_Digital_PMR_Processors/#ARIB_STD-T98
(2013. 12. 06.)

- [12] CMX7131/CMX7141 Digital PMR Processor NXDN Operation, Datasheet, CML Microcircuits, 2014. April
http://www.cmlmicro.com/products/CMX7131_CMX7141_Digital_PMR_Processors
(2014. 05. 06.)
- [13] Dipl.-Ing. Roland Proesch: Signal Analysis for Radio Monitoring, Edition 2013, Books on Demand GmbH, Norderstedt, Germany, ISBN 9783732242566
- [14] Balog Károly: A PMR rádiózás kialakulása, fejlődése, jelentősége napjaink hírközlésében, Társadalom és Honvédelem, 2013. XVII. évf. 3.-4. szám, pp. 97-115.