

Balog Károly  
[balog.karoly07@gmail.com](mailto:balog.karoly07@gmail.com)

## DIGITÁLIS PMR RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA II.

### *Absztrakt*

*Cikkemben a hagyományos analóg rendszereket fokozatosan leváltó elterjedtebb TDMA<sup>1</sup> típusú digitális PMR<sup>2</sup> 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 TDMA 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, alacsonyszintű beszéd típusú kommunikációs jelek felderítése, kommunikációs felderítés*

---

<sup>1</sup> TDMA: Time Division Multiple Access – Időosztásos többszörös hozzáférési (rádiócsatorna megosztási) eljárás

<sup>2</sup> 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 [1], a hagyományos, analóg PMR rendszereket fokozatosan leváltó – frekvenciaengedélyhez kötött és nem kötött formában egyaránt alkalmazható – világviszonylatban elterjedtebb digitális PMR szabványok közül, az FDMA3 típusú keskenysávú szabványok rendszerező, összehasonlító elemzésének eredményeit foglaltam össze. A második részben a TDMA típusú szabványok vizsgálatát végzem el a fenti módszerek segítségével, illetve a terjedelmi korlátok miatt a P25 FDMA része is itt kerül ismertetésre. Így az I. és II. rész együttesen ad áttekintést a fontosabb digitális PMR szabványokról.

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 ismerveire, technikai paramétereik megállapításán keresztül. Az ismervek megállapításának célja az 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 DIGITÁLIS PMR SZABVÁNYOK JELENLEGI ELTERJEDTSÉGE

A jelen cikk első részének készítésekor 2014 elején, már működtek digitális PMR rendszerek Magyarországon, azonban az azóta eltelt időben hatványozottan felgyorsult az ilyen rendszerek hazai, de nemzetközi elterjedése is. Ez az akkori és a jelenlegi hazai vételkísérleteim tapasztalatai, valamint a nemzetközi szakirodalom tanulmányozása alapján egyértelműen megállapítható, és kijelenthető. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a régi elavult amortizálódott rendszerek leváltásakor csakúgy, mint új rendszerek tervezésekor már egyértelműen szinte kizárólag a digitális rendszerek kerülnek az előtérbe, és kivitelezésre a gyakorlatban is, azaz beindult és működik a digitális migráció. A működő rendszerek között egyaránt megtalálhatóak a keskenysávú FDMA és a TDMA típusú rendszerek, de kezd jól körvonalazódni ezek hazai elterjedtsége is az adott konkrét szabványokra vonatkoztatva.

A jelen cikk tárgyát képező TDMA típusú rendszerek tekintetében gyakorlatilag 4 féle szabvány létezik, az európai TETRA<sup>4</sup>, az amerikai P25<sup>5</sup>, a szintén európai DMR<sup>6</sup> és a kínai PDT<sup>7</sup>, ahogyan ez a cikk első részében lévő táblázatban is látható [1]. A szabványok tekintetében azóta csak az elterjedtségükben történt változás. Vegyük sorra az egyes szabványokat. A TETRA és a P25 főleg a rendvédelmi szektorban egyeduralgok Európában és Amerikában, de a civil TETRA rendszerek is egyre nagyobb elterjedtséget mutatnak a világban. A kínai PDT rendszernek szintén inkább rendvédelmi vonatkozásai vannak, Európában pedig egyáltalán nincs is piaca. A PDT emellett olyannyira kötődik a rendvédelemhez, hogy először Police Digital Trunking-nek nevezték, utalva a fő kínai

---

<sup>3</sup> FDMA: Frequency Division Multiple Access – frekvenciaosztásos többszörös hozzáférési (rádiócsatorna megosztási) technika

<sup>4</sup> TETRA: Terrestrial Trunked Radio – európai 4 időrekes trónkölt rádiószabvány

<sup>5</sup> 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 Amerikában, de Kanadában és Ausztráliában is használt.

<sup>6</sup> DMR: Digital Mobile Radio – Európa két időrekes digitális rádiószabvány.

<sup>7</sup> PDT: Professional Digital Trunking – professzionális digitális, a DMR-hez hasonló 2 időrekes trónkölt rendszer

felhasználás jellegére. A rendszert ugyanis a kínai közbiztonsági minisztérium kezdeményezésére kezdték el kifejleszteni hazai (kínai) tudományos bázison. [2]

A nem trónkölt típusú rendszerek tekintetében egyedül az európai DMR szabványú rendszerek mutatnak jelentősebb elterjedtséget itthon, bár a DMR-nek is van trónkölt változata. A DMR típusú rendszereknek már számos alkalmazása valósult meg Magyarországon, erőművek, taxi társaságok, futárszolgálatok, autógyárak és egyéb ipari üzleti alkalmazások tekintetében. A DMR azonban már nem csak az üzleti életben, de az amatőr rádiózásban is legalább annyira népszerű, nem csak Európában, de az amerikai kontinensen is. Az elmúlt években 4 magyarországi átjátszó is kiépítésre került, melyekkel már szinte teljes országos lefedettség valósult meg napjainkra. Az átjátszók egy kiterjedt nemzetközi hálózat részeként a világ számos DMR átjátszóján keresztül kommunikációt biztosíthatnak az azok vételkörzetében tartózkodó regisztrált felhasználókkal. A TDMA szabványú nem trónkölt rendszerek tekintetében, tehát a DMR gyakorlatilag egyeduralkodó itthon.

TDMA rendszerek tekintetében az érdeklődésem legfőképpen a DMR szabványra irányul, mivel a vizsgálataim célját tekintve, az illegális, vagy engedélyhez nem kötött használatra az ilyen rendszerek alkalmasak, hiszen a trónkölt rendszerek használatához fix telepítésű infrastruktúra szükséges. Az ilyen szempontú vizsgálat okán a P25 nevű amerikai szabvány bizonyos típusainak is lehet még jelentősége az eszközök nagy száma, és ezek esetleges illegális terjedése miatt. Ez utóbbi okán azonban a PDT rendszerű készülékekkel is foglalkozni kell annak ellenére, hogy a rendszer még csak Kínában mutat jelentősebb elterjedtséget. Mivel azonban a Hytera és más nagy kínai gyártók a kínai kormány kulcsfontosságú partnerei a rendszer fejlesztésében, ezért a cégek súlya miatt egyéb, főleg ár érzékeny afrikai és ázsiai piacokon is működnek már PDT rendszerek, pl. Guatemalában, Thaiföldön, Kambodzsában, Indonéziában és Vietnámban is [2]. A Hytera cég információja szerint [2] azonban érdeklődés volt már Európából, latin-Amerikából és a közel keletről is tesztrendszerek tekintetében, azaz a szabvány jelentősége egyre nő, nem csak Kínában, de nemzetközi szinten is.

Az európai TETRA tekintetében is jelentős elterjedtségről beszélhetünk itthon, de világviszonylatban is, hiszen a rendvédelmi szervek hazai kommunikációját kizárólag az országos EDR rendszer biztosítja. Amellett, hogy a nem rendvédelmi alkalmazások terén is egyre nagyobb igény mutatkozik a TETRA rendszerű EDR hazai igénybevételére. Mivel azonban ez a rendszer is trónkölt megoldást alkalmaz alapvetően, továbbá olyan szintű kiiktathatatlan azonosítási, titkosítási és biztonsági eljárásokat implementáltak a rendszerbe, ami nagymértékben biztonságossá teszi az alkalmazását, ezért ennek vizsgálatával nem foglalkozom.

Nézzük meg először a PDT és a P25 rendszerekkel kapcsolatos aktuális információkat, majd pedig részletesen a DMR-el kapcsolatos ismereteket.

## **A PDT RENDSZER**

A PDT rendszer alapvetően a kínai piacra készült szabvány, amelyik erős párhuzamosságokat mutat az európai DMR-el, azonban a kínai piac helyi specifikus igényeit is ki tudja szolgálni. Így együtt tud működni a jelenleg is meglévő MPT 1327 típusú analóg trónkölt rendszerrel (350 millió felhasználó) és annak GIS rendszerével is, majd fokozatosan biztosítja a PDT bevezetését a digitális átállás keretében. A kínai nagyvárosokban alapvetően TETRA rendszerek működnek, azonban a nagy területi lefedettséget országos szinten megoldó MPT analóg hálózatok cseréje költséghatékonyan csak a TETRA-nál olcsóbb technológia kiváltásával lehetséges a kínai kormány szerint [3].

A PDT tekintetében a beszédkódolás (vocoder) kulcskérdés, mivel annak eljárása meglehetősen nyelv specifikus. Azonban nemcsak ezért, hanem a DVSI<sup>8</sup> beszédkódolók nemzetközi monopóliumának megtörése és licenszdíjának megspórolása okán sem akartak amerikai szabványú beszédkódolót alkalmazni a rendszerben [4]. Így az orosz és kínai nyelv specifikus NVOC beszédkódoló fejlesztését a kínai Tsinghua Egyetemen végezték el [2]. A beszédkódolás mellett pedig az alkalmazott biztonsági is titkosítási technológia is a nemzeti szükségleteikkel van összhangban, azaz hazai fejlesztésű algoritmust alkalmaznak, továbbá a helymeghatározás tekintetében is a saját kínai Beidou<sup>9</sup> rendszerrel történő együttműködést preferálják.

Összességében a fentiek miatt a rendszer olcsóbb, mint a TETRA és DMR típusú rendszerek. Az Actec cég információja szerint egy PDT rendszerű terminál mintegy 1/7-árú egy TETRA terminál árához képest [4]. A PDT rendszer 2010. április 20-i bejelentése után három évvel a Kínai Közbiztonsági Minisztérium 2013. március 20-án hivatalosan is kiadott 4 ipari műszaki szabványt, amelyik tartalmazza a PDT rendszer általános technikai specifikációját a GA/T1056-2013 számon, a rádiócsatorna fizikai és adatkapcsolati rétegének leírását a GA/T1057-2013 számon, a rádiócsatorna hívásvezerlő rétegének technikai leírását a GA/T1058-2013 számon valamint a rendszer biztonsági műszaki előírásait a GA/T1059-2013számon [5]. A szabványokról angol nyelvű leírást nem találtam az interneten, egyedül az Amazon kínai vállalatának on-line kínálatában akadtam egy azonos című kínai nyelvű nyomtatott szabványleírásra, amelyik 25 júanba kerül az oldalra. Angol nyelven egyelőre a Springer India kiadásában jelent meg egy hiánypótló könyv a Wireless Communications, Networking and Applications 2016-os kiadása, de ebben is csupán két cikk található a PDT-vel kapcsolatban. Az egyikből [6] megtudjuk, hogy a PDT a 2010-es bemutatása óta a folyamatos kutatás-fejlesztésnek köszönhetően 2015-re a termékek nagy volumenű kereskedelmi bevezetése és gyártása elkezdődött, és Kínában már számos helyen alkalmazzák a régi MPT trónkölt rendszerek kiváltására. A szerzők szerint a PDT az érett időszakába lépett. A fenti kiadvány másik cikke [7] a PDT rendszer csatorna hozzáféréseinek fejlesztését írja le a TETRA szabványhoz hasonlítva annak képességeit.

Szintén az Actec cég honlapján [8] további információkat kapunk arról, hogy a rendszer széleskörű bevezetése megkezdődött Kínában, amit 2013 szeptemberig már mintegy 45 hazai cég támogatott beszállítóként és kivitelezőként. A PDT rendszer mindemellett a gyártók és beszállítók nagy száma (kritikus tömege) miatt már Oroszország, Thaiföld, Pakisztán és Nepál kommunikációs hálózataiban is működik projekt jelleggel. Az orosz felhasználás természetesen érthető a közösen kifejlesztett nyelv specifikus beszédkódoló kapcsán, valamint az ország hasonló területi és gazdasági adottságai, politikai beállítottsága miatt. Egy másik gyártó (Volinco) angol nyelvű honlapján [9] található dokumentumból azonban további hasznos részletek derülnek ki a szabvánnyal kapcsolatban. Ebben egyértelműen leírják, hogy bár a szabvány neve trónkölt rendszerre utal, azonban a DMR Tier 1-2-3 szintjeihez hasonlóan a trónkölt üzemmód mellett itt is lehetséges a közvetlen direkt valamint az átjátszón keresztüli kommunikáció is. Ennek fényében a később legálisan vagy illegálisan terjedő várhatóan igen olcsón beszerezhető készülékek direkt módú kommunikációja szintén érdekes lehet a témám szempontjából.

Mivel egyelőre nem érhető el angol nyelvű változat az eredeti szabványból így a rendszerrel kapcsolatos konkrét műszaki tartalmak hiányában csak azt lehet feltételezni, hogy annak címzési és készülékazonosítási megoldási, eljárásai nagymértékben hasonlítanak egymásra, mivel a PDT megalkotásakor a DMR volt a kiindulási alap. Ezt támasztják alá azok az információk is, hogy a gyártók által készített PDT készülékek a legtöbb esetben a DMR

---

<sup>8</sup> DVSI: Digital Voice Systems Inc. –alacsony bitrátájú beszédkódolókat gyártó amerikai cég

<sup>9</sup> Beidou: (magyaros átírással: Pejtu) a kínai megfelelője a jól ismert amerikai GPS, valamint az orosz GLONASSZ és az európai Galileo műholdrendszereknek.

szabvány szerint is képesek működni. A Hytera cég DMR termékvonalához készült szoftververziójának 7.0 kiadásába bekerült az átjátszóállomások új képességei közé a PDT-hez készült NVOC beszédkódoló támogatása is [10]. De számos más kínai gyártó DMR rádiójában az AMBE vokóder mellé az NVOC támogatása is bekerült [11].

A PDT rendszer olcsósága miatt az arra érzékeny piacokon jelentős sikereket érhet el a jövőben, ami elősegítheti az egyébként önmagában sem kicsi kínai piac mellett a rendszer globálisabb elterjedését is.

## A P25 RENDSZER

A Project 25 rövidebb nevén P25, az APCO<sup>10</sup> kezdeményezésére a TIA<sup>11</sup> által kidolgozott és 1995-ben közzétett nyílt rádiószabvány (TIA-102), melyet a TETRA-hoz hasonlóan – rendvédelmi és kormányzati kommunikációs – célokkal hoztak létre Amerikában, de Kanadában és Ausztráliában is használt. A P25 természetesen a magánszféra és a rádióamatőrök által is széleskörűen alkalmazott kommunikációs szabvány világszerte, adott esetben titkosított, de titkosítás nélküli formában is.

A P25-nek két „fázisa” létezik: az egyik a Phase 1. (1995: analog, 2003: digitális), amelyik 12,5 kHz-es FDMA átvitelrel és a digitális változat C4FM modulációval működik. A másik a Phase 2. (2009-2012), amelyik szintén 12,5 kHz-es csatornán, azonban két-időréses TDMA átvitelrel és H-CPM<sup>12</sup> állandó burkolójú nemlineáris modulációval valamint H-DQPSK<sup>13</sup> non-koherens modulációval működik. A H-CPM-et a felhasználói készülékeknél alkalmazzák, míg a H-DQPSK modulációval a fix telepítésű berendezések (átjátszók, bázisállomások) sugároznak a felhasználók felé. [12]

A digitális P25 Phase 1 szabványánál DVSI szabványú teljes sebességű (full rate) IMBE<sup>14</sup> beszédkódolót alkalmaznak, azonban a Phase 2 már félsebességű (half-rate) AMBE<sup>15</sup> beszédkódolót használ, csak úgy, mint a DMR szabvány. Az IMBE kódoló a 20 ms-os szabványos beszédkeretekből 88 bit kódolt adatot állít elő (4400 bit/s) amit 2800 bit/s-os hibakorlátozó kódolással (FEC) egészít ki. Az így kapott 7200 bit/s a beszédkódoló kimenő bitsebessége, amihez legvégül a 2400 bit/s-os jelzésátviteli és hívásvezérlő információ adódik hozzá. Így összességében megkapjuk a Phase 1 9600 bit/s-os csatorna kapacitását. A Phase 2 esetében kisebbek a sebességek: az AMBE kódoló 2450 bit/s-os natív audió jeléhez 1150 bit/s-os hibakorlátozó kódolás (FEC<sup>16</sup>) adódik, ez eredményezi a beszédkódoló 3600 bit/s-os kimenő jelét, amihez szintén 2400 bit/s-os jelzésátviteli információ adódik. Így összességében 6000 bit/s-os csatornkapacitást kapunk (1 időrés esetén). [13, p. 23.]

A rendszerben alkalmazott hibavédő és hibakorlátozó kódolások hasonlóak, mint a többi PMR szabványnál vagy egyéb mobil kommunikációs rendszerénél. Így a védelemre Hamming, Golay, Reed-Solomon, stb. kódokat alkalmaznak bitszétkenéssel kombinálva, az átvitt rádiófrekvenciás-jelek fédingek okozta hibái ellen.

A szabványleírás szerint a Phase 2 módú rádiók kizárólag trónkölt rendszerű üzemmódban működnek, azonban visszafelé kompatibilisek a Phase 1 típusúakkal. Ez azért van így, mert a Phase 2 esetében a vezérlőcsatorna minden esetben a Phase 1 FDMA szabványa szerint működik. A Phase 2 rendszer a Phase 1 jelzésrendszerének és az Air Interfészének alapjaira épül, kiegészítve azt a TDMA működésmód képességével. Megállapítható, hogy a Phase 1 a

<sup>10</sup> APCO: Association of Public Safety Communications Officials International

<sup>11</sup> TIA: Telecommunications Industry Association

<sup>12</sup> H-CPM: Harmonized Continuous Phase Modulation – állandó burkolójú nemlineáris moduláció

<sup>13</sup> H-DQPSK: Harmonized Differential Quadrature Phase Shift Keyed modulation

<sup>14</sup> IMBE: Improved Multi-Band Excitation – Továbbfejlesztett többsávú beszédkódoló

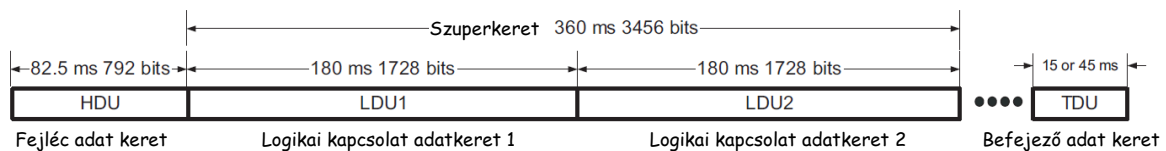
<sup>15</sup> AMBE: Advanced Multi-Band Excitation – Fejlett többsávú beszédkódoló

<sup>16</sup> FEC: Forward Error Correction – hibakorlátozó kódolás, ami a kisebb bithibákat képes javítani növelve ezzel a hatótávolságot és az átvitel minőségét

témám szempontjából a lényegesebb, mivel közvetlen, vagy átjátszón keresztüli működés kizárólag ez képes. Így a következőkben a Phase 1 ismertetésére szorítkozom annak ellenére, hogy ez egy FDMA szabvány. A Phase 2 szabványú rádiók is tudják ezt az üzemmódot, a fent leírtak miatt, és így akár közvetlen összeköttetésre is képesek, annak ellenére, hogy a fő funkciójuk a trónkölt üzemű működés.

### A P25 phase 1 keretszervezése, logikai csatornái, címzési módjai

A P25 rendszer esetében is keretszervezéssel biztosítják a hang és adat információk rendezett és átviteli hibák ellen is védett adását és vételét. A beszédkódoló által előállított 20 ms-os beszédnek 88 bitnyi információ felel meg, melyet 56 bites paritásvédelemmel kiegészítve egy beszédkeret 144 bit-re adódik. Ezekből 9-9 db kerül átvitelre mindkét LDU1 és LDU2<sup>17</sup> mezőben. A két egyenként 180 ms-os LDU mező együtt alkot egy 360 ms-os szuperkeretet. Ezek folyamatos átvitele addig ismétlődik, egy bevezető keret HDU18 átvitele után, amíg a beszéd tart. Az információátvitel végét egy befejező adatkeret TDU 19 kisugárzásával jelzik. Adatátvitel esetén az LDU1-2 adatkeretek helyett változó hosszúságú csomagkapcsolt PDU<sup>20</sup> adatkereteket használnak



1. ábra: A P25 keret felépítése [12, p. 49. a szerző által szerkesztett]

Ha kiszámoljuk, látható hogy a  $144 \cdot 9 = 1296$  bit nem tölti ki az LDU 1 és 2 adatkeretek 1728 bitjét. Ez azért van, mert a maradék bitidőben egyéb társított információkat visznek át a hívásvezérlési információk (LC<sup>21</sup>), titkosítási információk (ES<sup>22</sup>) és lassú-adat (LSD<sup>23</sup>) átvitele céljából, ahogyan ez a 2. ábrán látható.

Ezeket nevezhetjük logikai csatornáknak is, melyek bitjeit az egyes beszédkeretek közötti szünetekben viszik át a következő képen. Az LC: az LDU1 2-8. beszédkeretek közötti  $6 \times 40 = 240$  bit segítségével kerül átvitelre. Az LSD: egyik fele az LDU1 8-9. még második fele az LDU2 17-18. beszédkeret közötti  $2 \times 32$  (összesen 64) biten kerül átvitelre. Az ES: azaz a titkosítással kapcsolatos információk egyrészt minden egyes fejléc adatkeretben HDU, továbbá az LDU2 11-17. beszédkeretek közötti  $6 \times 40 = 240$  bit segítségével is átvitelre kerül.

<sup>17</sup> LDU1 és LDU2: Logical Link Data Unit – logikai kapcsolat adatkeretek /ezek a beszédkeretek/

<sup>18</sup> HDU: Header Data Unit – fejléc adatkeret

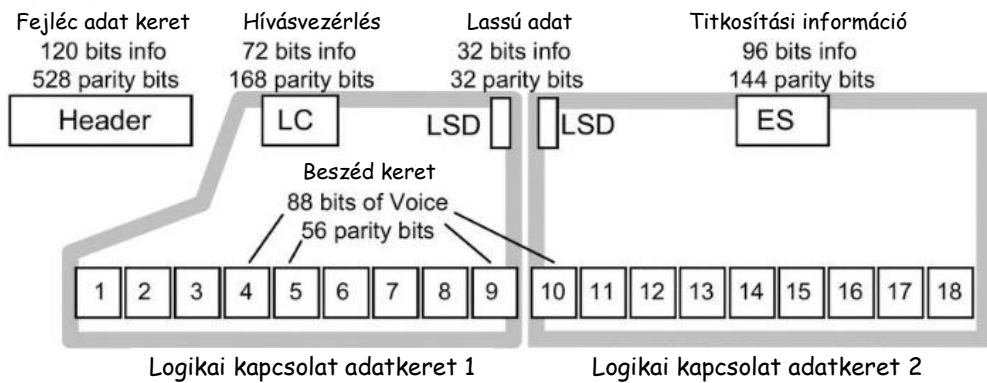
<sup>19</sup> TDU: Terminator Data Unit – befejező adatkeret

<sup>20</sup> PDU: Packet Data Unit – csomagkapcsolt adatkeret

<sup>21</sup> LC: Link Control – hívásvezérlő logikai csatorna

<sup>22</sup> ES: Encryption Synchronisation – titkosítási információk

<sup>23</sup> LSD: Low Speed Data – lassú adatátviteli csatorna

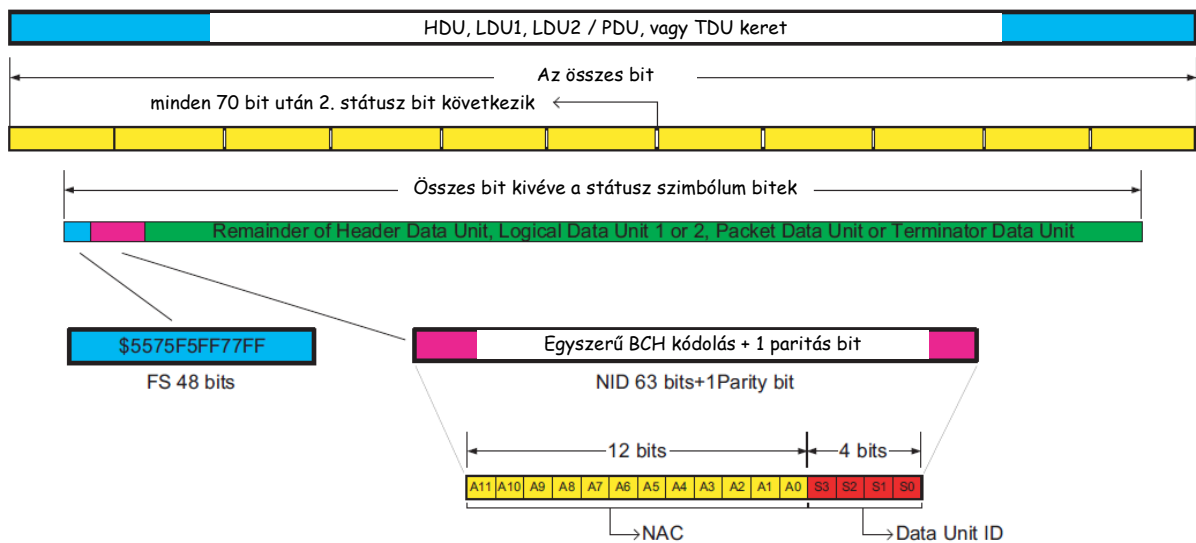


2. ábra: A P25 keret felépítése [14, p. 8. a szerző által szerkesztve]

## A P25 szabvány kód rendszere

### Keretszinkronizálás és hálózatazonosítás

Mindegyik 1. ábrán látható adatkeret (a HDU, az LDU1, LDU2/ vagy PDU továbbá a TDU) egy speciális 48 bites ún. keret-szinkronizációs FS<sup>24</sup> szekvenciával továbbá a 64 bites (16 bit hasznos) NID<sup>25</sup> hálózatazonosító kóddal kezdődik, mind beszéd mind adatátvitel esetében (3. ábra). Azaz legrosszabb esetben is 180 ms-onként ismétlődik, ami biztosítja az ún. late entry azaz a késői belépés lehetőségét a kommunikációba. Az FS ismert bitsorozata biztosítja az egyes adatkeretek elejének megtalálását. A szoftveres és hardveres digitális PMR dekóderek is erre szinkronizálnak rá. Az FS nem programozható a felhasználó által.



3. ábra: Keretek szinkronizálása, és a hálózat azonosítása valamint a csomag típus beállítása [12, p.50.]

### Hálózat és szolgáltatásazonosítással kapcsolatos kódok

A *Státusz szimbólum* minden 70 bit utáni 2 bit, (3. ábra sárga sor) a csatorna aktivitását jelzi az ismétlő felé 00 vagy 10 jelzéssel. Míg az ismétlő a 01 státuszjelzéssel foglaltságot, az 11-el pedig idle átvitelt jelez /szabad jelzés/ a felhasználók felé a bejövő időkeretek tekintetében. A 00 ismeretlen állapotot jelent, illetve ezt alkalmazzák Direkt kommunikáció esetén is. Az 10 állapotot pedig szintén használt ismétlő ismeretlen státuszának jelzésére is.

<sup>24</sup> FS: Frame Synchronization – keretszinkronizáló bitsorozat

<sup>25</sup> NID: Network Identifier – hálózatazonosító



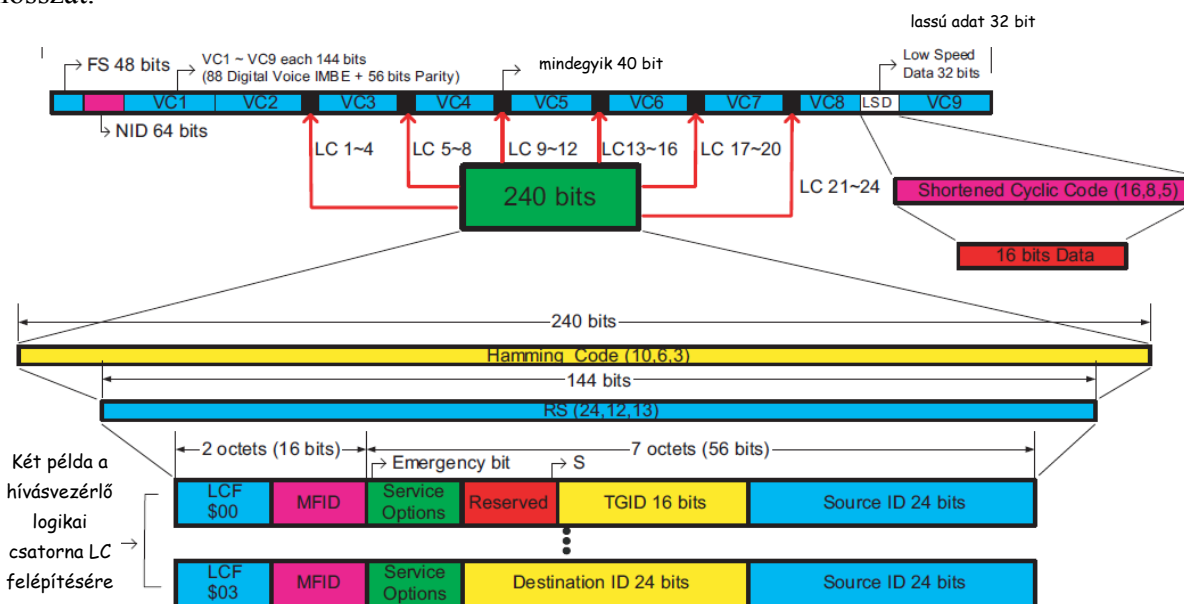
A P25 esetében a hálózat azonosítására az un. NID<sup>26</sup> kódok (64 bit) szolgálnak, amelyeket minden P25 adatkeret tartalmaz. Ez egy 12 bites NAC<sup>27</sup> és egy 4 bites Data Unit ID kódból áll. Ezek együttese egy egyszerű BCH kódolás és paritás képzés után nyeri el végső 64 bites alakját. (3. ábra)

A Data Unit ID 4 biten definiálja az adatkeret típusát, pl. fejléc HDU vagy logikai kapcsolat adatkeret LDU1 / LDU2 vagy befejező adatkeret TDU adatcsomag, stb. Ezek a bitek nem hozzáférhetők, ill. programozhatók a felhasználó által.

A NAC kód 12 biten (4096 kóddal) a felhasználó által programozhatóan az átjátszóhoz vagy másik rádióhoz történő hozzáférést vezérli, a DMR-nél alkalmazott CC- színekódhoz vagy az analóg rendszereknél alkalmazott CTCSS és DCS kódokhoz hasonlóan. Azaz minimalizálja az azonos területen működő, de eltérő hálózatok közötti interferenciákat. Emiatt azonban egy felderítésre alkalmazott eszköznél a NAC kód segít azonosítani a felderített adások hovatartozását. Mind az egyedi készülékeken (F7E) mind az átjátszókon (F7F) beállítható a NAC speciális értéke, amelyiknél bármely NAC azonosítóval ellátott hálózat jeleit veszik, illetve továbbítják (átjátszók) a berendezések szelektálás nélkül. Ez egyrészt ismeretlen adók monitorozását teszi lehetővé rádiók esetében, másrészt pl. amatőr /nyilvános használatú/ átjátszók esetén tetszőleges bejövő adások továbbítását biztosítják.

### Hívócsoport és készülékazonosítással valamint gyártóval kapcsolatos kódok

Az LDU1 tartalmazza a hívásvezérlő csatornát LC, melynek 240 bitjéből a 72 hasznos bit két lehetséges változatát szemlélteti a következő 4. ábra. A legfelső sor összesen 1680 bit, amihez még hozzáadódik 48 bitnyi státusz szimbólum, így kapjuk meg az adatkeret 1728 bites teljes hosszát.



4. ábra: Az LDU1-ben átvitt hívásvezérlő (LC) és lassú-adat (LSD) logikai csatornák átvitele [12, p.53. szerző által szerkesztett]

Az LC 72 hasznos bitje többféle formátumot vehet fel, a fenti ábrán ezek közül kétféle látható. Az LCF<sup>28</sup> 8 bitje közül az első bit az MFID utáni bitek titkosítását (1), illetve nyílt átvitelét (0) jelzi. Az LCF utolsó 6 bitje az un. LCO<sup>29</sup> ami meghatározza az LC felépítését, azaz a típusát. Ez 0-63-ig vehet fel értéket. Ezek közül a számunkra két legfontosabb típust részletezi a 4. ábra.

<sup>26</sup> NID: Network Identifier – Hálózat azonosító kód

<sup>27</sup> NAC: Network Access Code –Hálózat /ismétlő/ hozzáférési kód

<sup>28</sup> LCF: Link Control Format – hívásvezérlő csatorna formátumát meghatározó mező, az LC első 8 bitje

<sup>29</sup> LCO: Link Control Opcode – hívásvezérlő formátum kódja



A felső egy csoport hívás, míg az alsó egy direkt hívás vezérlésére szolgáló felépítést mutat. Ezek az alábbi a hívó és hívott fél egyedi azonosítására alkalmas kódokat tartalmazzák.

A *hívócsoportok* (a felhasználók adott szempont szerinti beszédcsoportjának) logikai *azonosítására* (címezésére) szolgálnak a 16 bites TGID<sup>30</sup> kódok. Ez 0000-FFFF (hex.) 65536 egyedi címet vehet fel. Speciális értékei: 0001 csak egy beszédcsoport létezik, 0000 beszédcsoporton kívüli felhasználó vagy egyedi hívást kezdeményez, illetve FFFF esetén mindenki számára elérhető csoport. A TGID-t nem csak az LC tartalmazza, de minden egyes fejléc adatkeretben HDU-ban is átvitelre kerül. Így már ennek dekódolásából eldönthető, hogy nekünk szól-e az üzenet.

Az *egyedi készülékek azonosítására* szolgál a 24 bites (16.777.216 különböző) Unit ID<sup>31</sup> kód, mely mind csoport, mind egyedi hívás esetén azonosítja a hívó és a hívott felet egyaránt. Két típusa van a Source ID a hívást kezdeményező címe, míg a Destination ID a hívott fél (a vevő) egyedi címe. Az ID kódokat a felhasználók szabadon programozhatják a készülékbe.

További azonosító a rendszerben a 8 bites MFID<sup>32</sup>, amelyik a *készülékgyártót azonosítja* (ilyen szintén van a DMR-nél), így az esetleg gyártónként kismértékben eltérő rádió képességeket, egyedi alkalmazásokat, illetve jelzésátviteli specialitásokat lehet általa figyelembe venni a kommunikáció során. Ha ennek értéke nem a szabványos 00 vagy 01 (hexa) érték, akkor az adott rádió jelét nem biztos, hogy venni vagy továbbítani tudja egy másik kóddal rendelkező átjátszó, vagy rádiókészülék. Az MFID szintén átvitelre kerül minden egyes fejléc adatkeretben HDU-ban is.

### **Lassú adattal és vészjelzéssel kapcsolatos kódok**

Az LDU1 VC8 és VC9 beszédkeretek között kerül átvitelre a lassú-adat logikai csatorna LSD első fele 32 biten. Ennek 16 bites hasznos része a szabványban részletesen nem definiált olyan alacsony sebességet igénylő adatátvitelt tartalmazhat, mint a GPS helyzetinformációk, infrastruktúra státusz információk stb. Az adatokat rövid ciklikus kóddal védik a hibáktól. Az LSD második fele az LDU2 VC17 és VC18 beszédkeretek között a fentiekhez hasonlóan kerülnek átvitelre.

A vészjelzéssel kapcsolatos un. emergency indicator bit, a 4. ábrán látható csoport hívást bemutató LC-csatorna szolgáltatás opciók (zöld színű) mezőjének első bitje jelenti. Ha ez 0, akkor normál, ha 1 akkor vész hívásról van szó.

### **Titkosítással kapcsolatos kódok**

Az összességében 96 bitnyi titkosítással kapcsolatos információk az LDU2-ben kerülnek átvitelre, melyek 144 bites paritással (Reed-Solomon+Hamming) vannak kiegészítve. A titkosítási információk minden egyes HDU fejléc adatkeretben is átvitelre kerülnek, az MFID és a TGID kódjaival együtt, azonban itt jóval erősebb hibavédelemmel vannak ellátva. A hasznos bitek tartalma mindkét átvitel esetében a következő.

A 8 bites ALGID<sup>33</sup> kódok az alkalmazott titkosító *kódolási algoritmust* azonosítják: pl. 80 (hex.) titkosítatlan, 84 (hex.) AES titkosítást jelent.

A 16 bites KID<sup>34</sup> az alkalmazott egyedi *titkosító kulcsot* azonosítja, amelyet a titkosító modulba kell betölteni. Titkosítatlan esetben ez 0000 (hexa) értékű.

A 72 bites MI<sup>35</sup> egy szinkronizáló bitsorozat a titkosító kulcsgenerátor szinkronizálásához, amelyet 1, 2, 3, 4 típusú kódolási algoritmusok (ALGID) esetén alkalmaznak. Titkosítatlan üzenetnél az értéke 0.

<sup>30</sup> TGID: Talk Groups Identification Code – Beszédcsoport azonosító kód

<sup>31</sup> Unit ID: készülékazonosító egyedi kód, ami egyaránt lehet az adó vagy a vevő kódja is

<sup>32</sup> MFID: Manufacturers Identification Codes – Berendezésgyártó azonosító kód

<sup>33</sup> ALGID: Algorithm ID – Azaz algoritmus kód, az üzenet kódolására használt titkosítás eljárást definiálja

<sup>34</sup> KID: Key ID – Azaz kulcs azonosító, a titkosító kulcsot azonosítja

Titkosított üzenet esetén a fenti kódokkal tudjuk az adó és a vevő titkosító modulját azonos állapotba hozni, hogy a titkosított információt vissza tudja fejteni.

### **A P25 azonosítására alkalmas kódok összefoglalása**

Az FS keretszinkronizációs kód ismert bitszekvenciája segít a (keretszinkronizálás mellett) vett jel szabványának beazonosításában, melyet többféle szabványhoz tartozó ismert keretszinkronizáló bitsorozattal is össze tudunk hasonlítani. Ennek megállapítása után a hálózat (átjátszó) azonosítására a 12 bites hálózat hozzáférési NAC kód vizsgálata alapján van lehetőség, melyet a felhasználó szabadon programozhat. A hálózaton belüli hívócsoport azonosításra az LC hívásvezérlő csatornán belüli 16 bites beszédcsoport azonosító TGID kód, míg az egyedi készülékek azonosítására a 24 bites hívó és hívott fél Source és Destination ID azonosító kódjai szolgálnak. Ezek szintén szabadon programozhatók. Az LSD logikai csatornából kinyerhetők a GPS helyzetinformációk, ha alkalmaznak ilyet az átvitelnél.

## **A DMR RENDSZER**

A DMR rendszer az ETSI<sup>36</sup> által 2005-ben kidolgozott szabványokon alapul. A DMR egy digitális 12,5 kHz-es 2 időréses TDMA alapú rendszer, melyet a TS 102 361 szabványcsoport [15] definiál, melynek három szintjét különbözteti meg az ETSI:

- Tier 1: Alacsony költségű, *engedélymentes* sávú, peer to peer (közvetlen kapcsolatú), infrastruktúra nélküli digitális szabvány,
- Tier 2: Professzionális felhasználású peer to peer és repeater módú (átjátszó alkalmazásával) szabvány az *engedélyköteles* sávokban történő használatra,
- Tier 3: Trönkölt rendszerű szabvány az *engedélyköteles* sávokban történő használatra.

A DMR szabványok egy jól skálázható rendszert alkotnak, és számtalan olyan plusz szolgáltatást nyújtanak, amire analóg társaik nem képesek kifinomult hívásvezérlési funkciók, rövid szöveges és adat üzenetek küldése, csomagkapcsolt IP-alapú adatátviteli lehetőségének biztosítása, teljes duplex beszédátvitel vagy beszéd és adat típusú információk egyidejű továbbítása a rádiócsatornán, hogy csak a fontosabbakat említsem. A fentiek közül nem minden funkciót és szabványban definiált megoldást valósítanak meg az egyes szabványkategóriák, ezek skálázva vannak az egyes szintekbe beépítve illetve az egyes készülékgyártók implementációi is eltéréseket mutatnak.

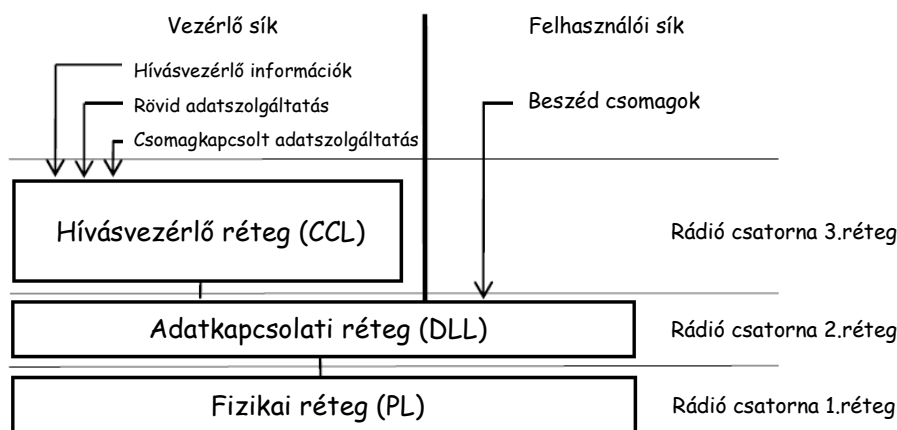
### **A DMR szabvány általános protokoll felépítése**

A DMR szabványcsalád protokoll felépítése teljesen hasonló a dPMR felépítéséhez. Ezeknél 3 szintű rétegben, rétegenként eltérő funkciókat valósítanak meg, az alábbi, 5. ábrának megfelelően. A protokoll felépítés eltér az OSI 7 rétegű modelltől, amennyiben itt csak 3 réteget használnak.

---

<sup>35</sup> MI: Message Indicator – szinkronizáló bitsorozat a titkosító kulcsgenerátorhoz, 1-2-3-4 típusú ALGID esetén

<sup>36</sup> ETSI: European Telecommunications Standards Institute – Európai Távközlési Szabványosítási Intézet



5. ábra: A DMR protokoll /ISO/OSI/ felépítése [16, p. 18.szerző által szerkesztett ]

A rádiócsatornán (Air Interface) a fizikai rétegen (PL<sup>37</sup>), az adatkapcsolati rétegen (DLL<sup>38</sup>) és a hívásvezérlő rétegen (CCL<sup>39</sup>) keresztül a *vétel szempontjából megvalósított* rádiófunkciók a következők: [16]

A *fizikai rétegen keresztül (1. réteg)* valósul meg: az RF jel vétele, a 4FSK demodulálás, a frekvencia és szimbólumszinkronizálás, a bit-, és szimbólum helyreállítás.

Az *adatkapcsolati rétegben (2. réteg)* alapvetően logikai kapcsolatokat kezelnek, ez a réteg „rejt el” a fizikai réteget a hívásvezérlő réteg elől. Itt kerülnek végrehajtásra a következők:

- a csatorna dekódolása hibajavítása, azaz a FEC40, CRC41 kódolások alapján az átviteli hibák javítása a bitsorrend-visszarendezés<sup>42</sup> (az adásnál történt bitszétkenés inverz folyamatként);
- 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 (beszédkódoló adatok) számára a fizikai réteg irányából; adathordozó szolgáltatásokat biztosít, és végül a jelzésrendszer és/vagy felhasználói adatok cseréjét biztosítja a hívásvezérlő réteggel.

A *hívásvezérlő rétegben (3. réteg)* történik:

- a bázisállomás vagy átjátszó aktiválása-deaktiválása;
- a hívásvezérlés (hívások létrehozása, fenntartása, lezárása);
- az egyéni vagy csoporthívások, kezelése;
- a cél címzése (DMR ID vagy valamilyen átjáró /átjátszó);
- a beépített szolgáltatások támogatása: pl. vészjelzés, késői hívásbelépés<sup>43</sup> stb. kezelése;
- az adathívások vezérlése.

<sup>37</sup> PL: Physical Layer – Fizikai réteg

<sup>38</sup> DLL: Data Link Layer – Adatkapcsolati réteg

<sup>39</sup> CCL: Call Control Layer – Hívásvezérlő réteg

<sup>40</sup> FEC: Forward Error Correction – hibakorlátozó kódolás inverz művelete a hiba ellenőrzési és javítási eljárása

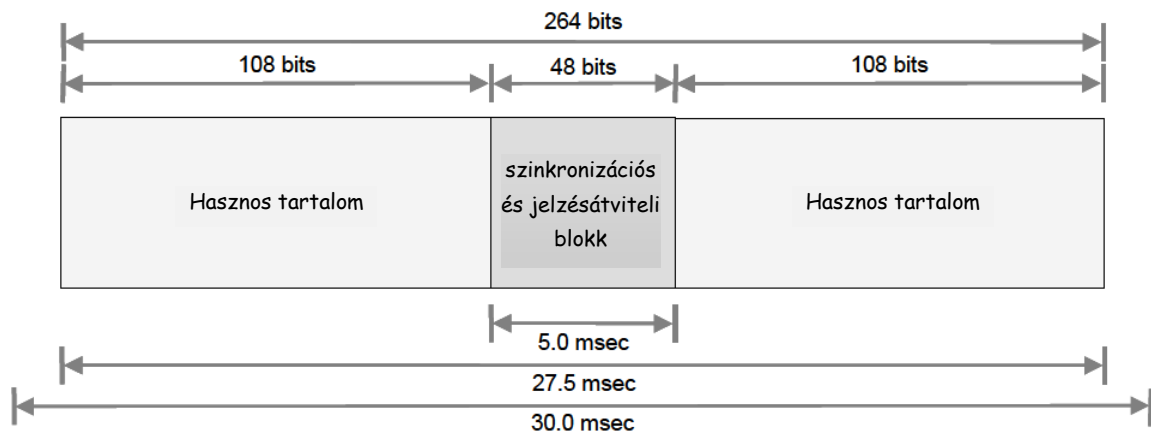
<sup>41</sup> CRC: Cyclic Redundancy Check – hibadetektáló kódolás inverz folyamata, a CRC ellenőrzése

<sup>42</sup> 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)

<sup>43</sup> Late entry call: /a DMR szolgáltatása/ amikor egy már kisugárzott adást nem az elejétől veszünk, hanem közben lépünk be a kommunikáció vételébe.

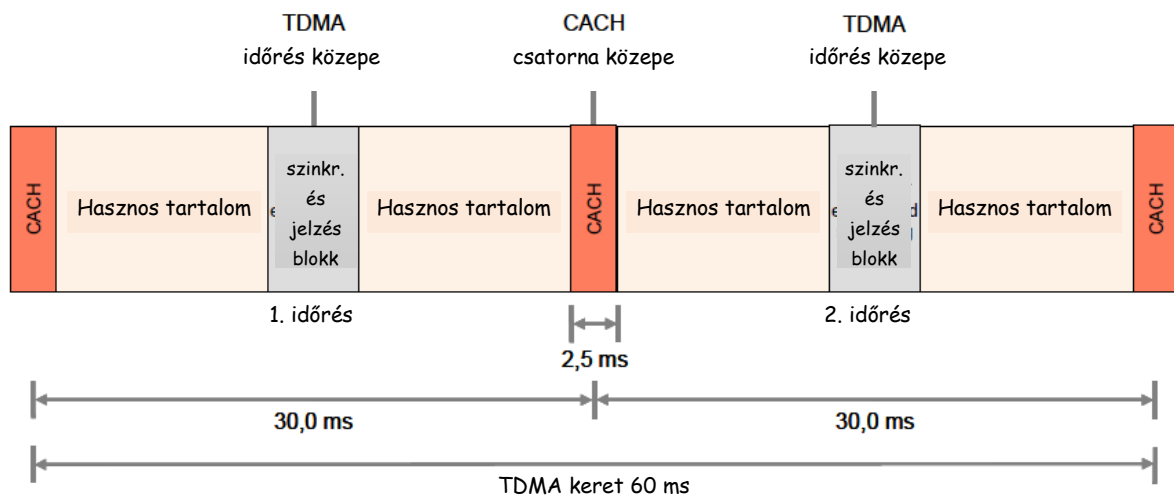
### A DMR szabvány logikai csatornái keretszervezése

A DMR rendszer alapvető egysége a TDMA időrés (6. ábra) ami 27,5 ms (védősávval együtt 30 ms) hosszú összesen 264 bitet tartalmazó struktúra. Egy időrés 3x20ms (60 ms) tömörített beszédinformációnak megfelelő, 3x72 bit beszédkódoló kimenő keret hibajavítással (FEC) ellátott információ bitjeit viszi át. Ezek kitöltik a  $2 \times 108 = 216$  bit hasznos időrés tartalmat (payload). A maradék 48 bit a keret közepén elhelyezkedő szinkronizációs és jelzésátviteli blokk. Ennek speciális tartalma a szinkronizációs bitsorozat (Sync pattern) melynek kiemelkedő jelentősége van a vétel szempontjából mind hardveres, mind szoftveres vevőimplementáció esetén. A vétel során segít a címzettnek az adás detektálásában és az adóra történő időbeli szinkronizációban, a kommunikáció- tartalmának (beszéd/ adat/ vezérlő/ visszirányú-csatorna információk) és irányának (felmenő/lejövő) megállapításában.



6. ábra: A DMR időrés felépítése [16, szerző által szerkesztett]

Két időrés (1, 2) alkot egy 60 ms-os TDMA keretet (7. ábra), melynek időrésai között 2,5 ms-os védő „sávok” vannak. Ezeket egy külön jelzésátviteli logikai csatorna a CACH<sup>44</sup> átvitelére használják, de csak az átjátszók által küldött keretek szüneteiben (lásd később a 10. ábránál). A 24 bites CACH csatornát a felmenő csatorna (keretek) TDMA keretszám aktuális értékének és foglaltságának jelzésére, illetve kisebbességű jelzésátvitelre az un. lassú összeköttetésvezérlő csatorna átvitelére alkalmazzák az átjátszók/ismétlők esetében.



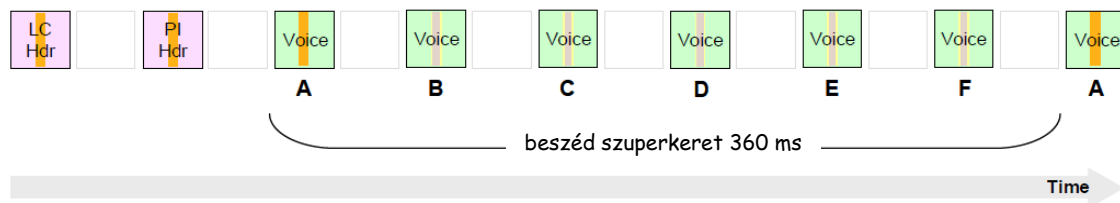
7. ábra: A DMR keret felépítése [16, szerző által szerkesztett]

<sup>44</sup> CACH: Common Announcement Channel – Közös szóró vagy hirdetmény csatorna

A tömörített beszédinformációt valamint a jelzésinformációkat kódolás és hibavédelemmel történő kiegészítés után egységes időrés-keret-szuperkeret formátumba szervezik a kisugárzás előtt. Az egyes csomagok fejlécekkel vannak ellátva amelyek a hívásvezérlő és a címzési információkat tartalmazzák. A csomagok többi része pedig a tömörített (vocoded) beszédinformációt tartalmazzák. Ez hasonló struktúra mint amit az internet protokoll (IP) adatcsomagok esetében alkalmaznak. A hasznos csomagok (payload frame) éppen ezért az IP csomagok egyszerű és alternatív formái a DMR rádiók esetében. A fejlécek információi periódikusan kisugárzásra kerülnek, ami megbízhatóbbá teszi a jelzésátvitelt, emellett pedig lehetővé teszi a vételbe később bekapcsolódó rádiók számára a kommunikációba történő utólagos részvételt/behallgatást (late entry).

### ***A beszéd szuperkeretek, a beszéd inicializálása és befejezése***

A beszéd keretek 360 ms-os szuperkereteket alkotnak, (8. ábra) melyek összesen 6 keretet tartalmaznak, ezeket A-F-ig betűvel jelölik. A hagyományos (nem trónkölt) rendszerekben a beszédkisugárzás kezdetét, mindig bevezető keret(ekkel) kezdjük. Ezek közül az LC<sup>45</sup> (Voice LC Header) fejléc mindig kisugárzásra kerül, amelyik jelzi a beszéd kezdetét és címzésinformációt is hordoz.



8. ábra: Beszédátvitel inicializálása az LC és PI fejlécekkel [16]

Az LC bevezető keret tartalmazza a kommunikáció felépítéséhez szükséges alapvető információkat, melyeket az átvitel során más helyeken is megismételnek, pl. a CACH csatorna CSBK<sup>46</sup> jelzésblokkjában, a beszédcsomagok fejlécében, stb. Ez magába foglalja a beszéd és egyéb társított jelzésinformációkat, pl. a szín kódot (CC<sup>47</sup>) ami az átjátszót vagy a hálózatot azonosítja, a beszédcsoport azonosítót (group ID), az egyedi készülékazonosítót (forrás és cél ID-t – source/destination ID), az üzenet típusát (call type) stb.

A PI<sup>48</sup> (ami mindig az LC után következik) csak abban az esetben kerül kisugárzásra, ha az üzenet titkosított. Ez un. Privacy Indicator Information tartalmú burst, a hiánya jelzi, hogy nyílt, míg kisugárzása, hogy kódolt tartalmú az üzenet.

Ha csak később kapcsolódunk be egy beszélgetésbe, abban az esetben is tudjuk venni az üzeneteket, un. *late entry* azaz *késői belépés* lehetőségével, mivel a szuperkeretek minden „A” jelű kerete közepén beszédzinkronizációs (Voice Sync) 48 bites bitsorozat kerül kisugárzásra (a 9. ábrán látható zöld részek között), míg az B-F keretekben az időrészek közepén a 32 bites (szinkronizációs és jelzésátviteli blokkban) 4 időrésben elosztva összesen 128 biten, beépített adat (Embedded signalling) formájában kerül átvitelre az LC összeköttetésvezérlő csatorna 72 hasznos bitje hibavédelemmel kiegészítve, ahogyan ez a 10. ábrán látható. A 2x8=16 bites EMB<sup>49</sup> mező tartalmazza a 4 bites CC színkódot, az 1 bites PI<sup>50</sup> indikátort, a 2 bites LCSS<sup>51</sup>

<sup>45</sup> LC: Link Control - Összeköttetés vezérlés

<sup>46</sup> CSBK: Control Signalling Block – vezérlőjel átviteli blokk

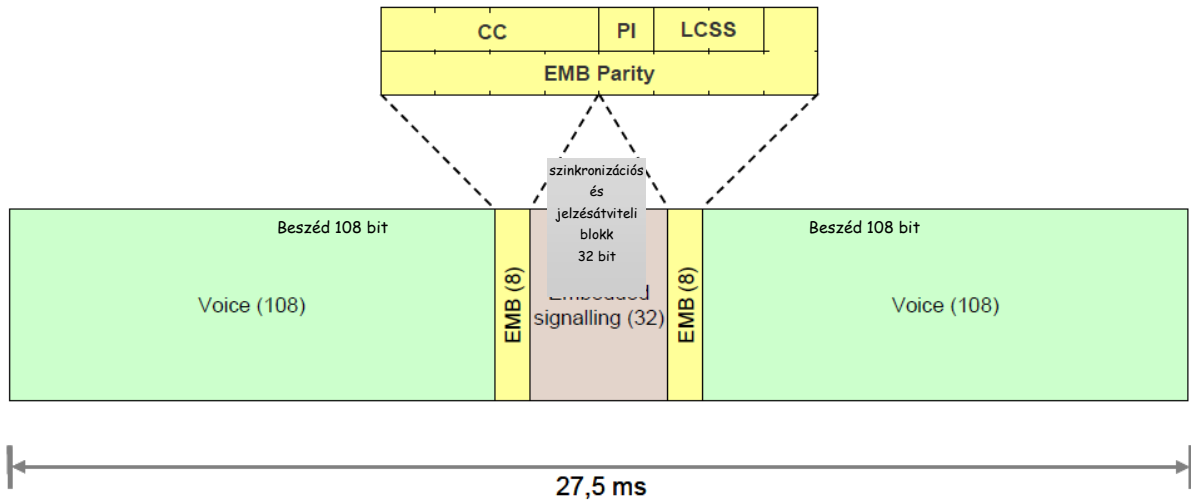
<sup>47</sup> CC: Colour Code – színkód, az azonos földrajzi területen üzemelő egymástól független hálózatokat azonosítja

<sup>48</sup> PI: Privacy Indicator – az összeköttetés védelmére vonatkozó információ

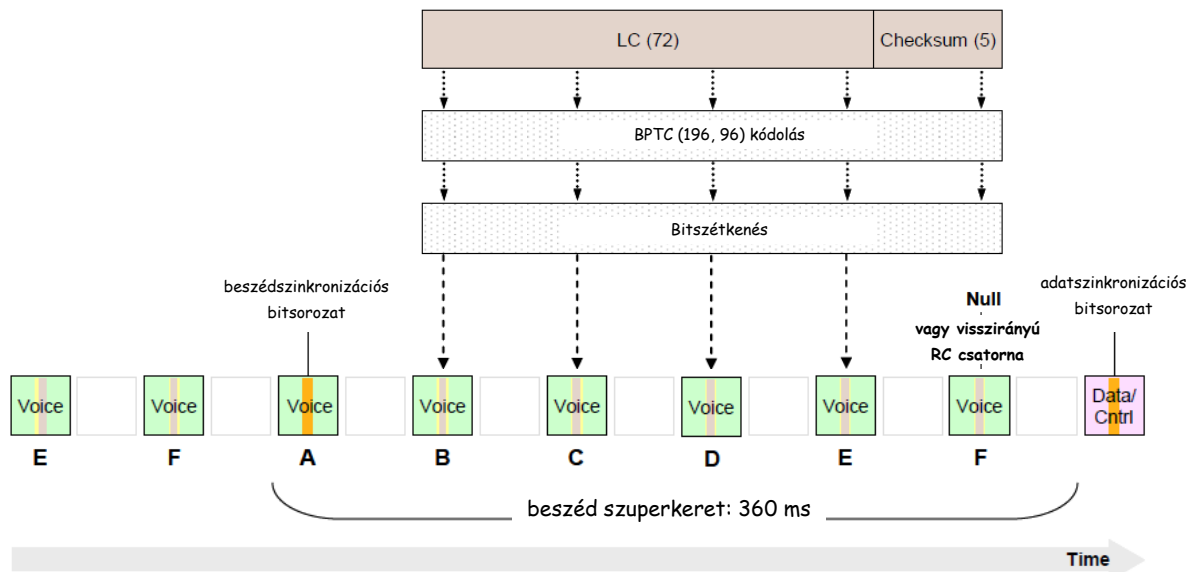
<sup>49</sup> EMB: EMBedded signalling field -

<sup>50</sup> PI: Pre-emption and power control Indicator – foglaltsági és teljesítményszabályozási jelző bit (itt más a jelentése mint a PI bevezető keretnél, lásd a 47. lábjegyzetnél fentebb)

jelzi, hogy az időrés tartalmaz-e kezdődő /befejeződő /folyamatban-lévő LC vagy CSBK jelzésátvitelt. A maradék 9 bit az előzőek paritását képezi. A 32 bites Embedded Signalling lehet LC átvitel, RC átvitel, vagy null üzenet. Az LCSS ennek információtartalmára vonatkozik.



9. ábra: Beszédkeret beépített jelzésátviteli blokkal /szuperkeret B-F keretekben/ [16, szerző által szerkesztett]



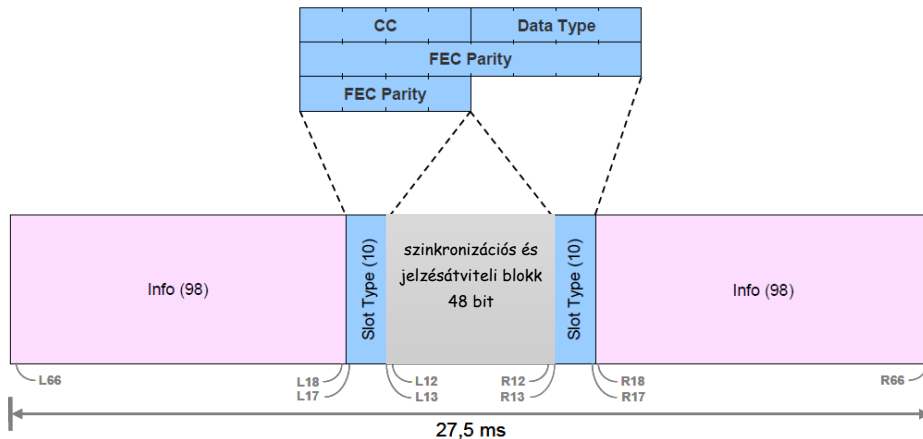
10. ábra: LC átvitele a B-F keretekben és a beszédátvitel befejezésének jelzése [16, szerző által szerkesztett]

A beszédinformáció annyi egymás utáni szuperkeretben kerül átvitelre, amennyi szükséges a teljes információ tartalom átviteléhez, majd a legutolsó szuperkeret végén egy befejező adatkeret (Voice LC Terminator) kerül átvitelre, adat szinkronizációs bitháttér tartalommal. Az adatkeret jelzi a vevőnek a beszélgetés befejezését, ahogyan ez a 10. ábrán látható.

<sup>51</sup> LCSS: Link Control Start/Stop – az összeköttetés vezérlő csatorna (LC) időbeli állapotát jelző bitek

### A bevezető és befejező keretek felépítése tartalma

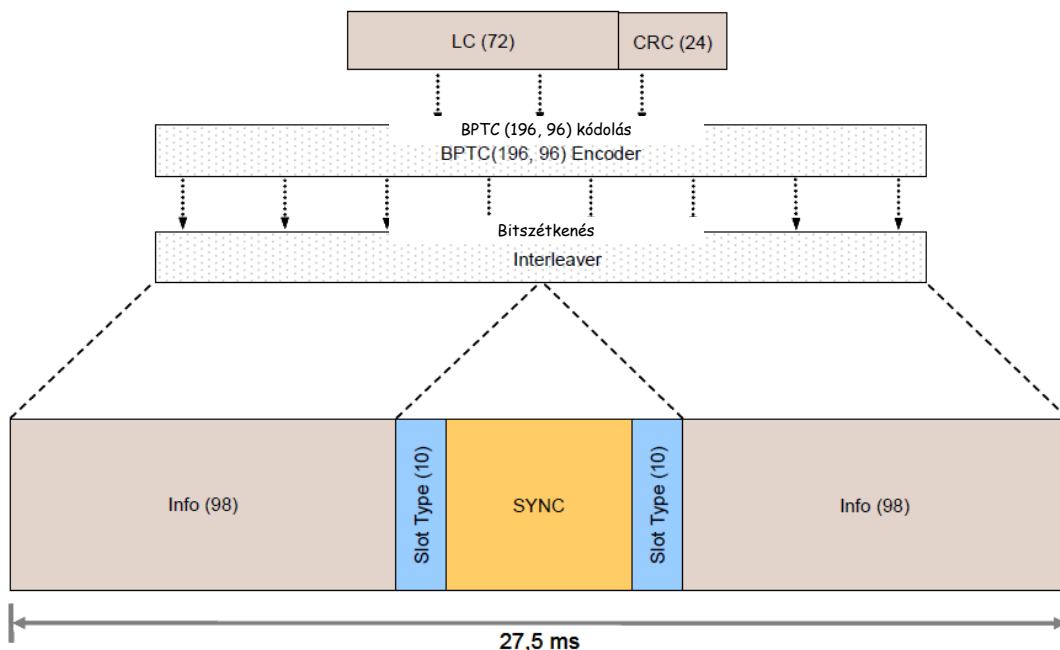
A kommunikáció elejét jelző *bevezető* és a végét jelentő *befejező* keretek a normál beszédkeretek felépítésétől kissé eltérő un. jelzés és adatkeret formátumban kerülnek átvitelre. Ezek a beszédkeretek  $2 \times 108$  bites hasznos tartalma helyett, csak  $2 \times 98 = 196$  bitnyi hasznos információt hordoznak, azonban az időrés közepén lévő szinkronizációs és jelzésátviteli blokkot két oldalról keretező  $2 \times 10$  bites keret típus (slot type) mezővel egészítik ki, így az időrés 264 bites összes bitszáma nem változik. Ennek általános formátuma látható a 11. ábrán.



11. ábra: Általános adatburst felépítése [16, szerző által szerkesztett]

Az összesen  $2 \times 10 = 20$  bites Slot Type mező definiálja az időrés összesen 196 bitnyi hasznos információ tartalmát. Ezen belül is a 4 bites adat típus (Data Type) mező határozza meg a burst konkrét típusát pl. 0001: bevezető keret (Voice LC Header), 0000: védelemjelző keret (PI header), 0010: befejező keret (Terminator with LC), 0011: CSBK, stb.

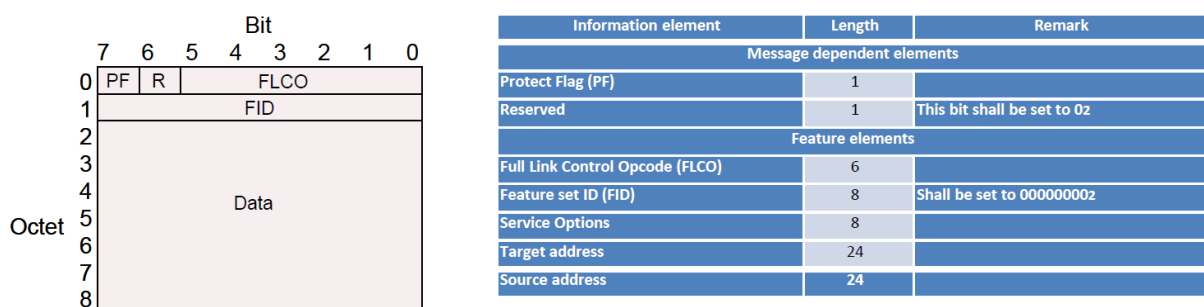
Bevezető és befejező keret esetén a  $2 \times 98 = 196$  bites információs bitek tartalmazzák a 72 hasznos bitet tartalmazó LC biteket, melyek 24 bit CRC kód és BPTC kódolás valamint bitszétkenés után kitöltik a 196 biteket, ahogyan ez a 12. ábrán látható.



12. ábra: Bevezető és befejező adatburst felépítése kódolása [16, szerző által szerkesztett]



A 72 hasznos bitet tartalmazó LC felépítése a következő 13. ábrán láthatóak szerint alakul



13. ábra: Bevezető és befejező adatburst felépítése [17]

A 72 bites LC csatorna 9 oktetből (8 bites blokkokból) áll. [18]

A nulladik oktet sorában a PF<sup>52</sup> a védelem jelző bit, az R<sup>53</sup>: későbbi használatra fenntartott bit (0 értékű), a 6 bites FLCO<sup>54</sup>: teljes összeköttetés vezérlő műveleti kód, ami a rádiócsatorna funkciókat azonosítja adott FID<sup>55</sup> esetén.

Az első oktet 8 bites FID: funkciókészlet (szolgáltatáskészlet) azonosítója jelzi, hogy ETSI szerinti szabványos LC csatornáról van szó ekkor SFID<sup>56</sup>, vagy gyártó specifikus un. MFID<sup>57</sup> tartalmú az adat (Data) mező tartalma.

A 2-8. oktet az adat mező (Data), ami felhasználó specifikus információkat tartalmaz: a 2. oktet a 8 bites szolgáltatás opció kód, a 3-8 oktet (48 bit) pedig a hívás típusától függő 24 bites címzési azonosítóból tartalmaz kettőt. *Csoport hívás esetén* a hívócsoport azonosítására szolgáló csoport azonosítót (Group address) és az adást kisugárzó rádió azonosítóját a (Source address) értékét tartalmazza. *Egyedi hívás esetén* pedig a célrádió címét (Target Address) valamint a forrás (Source address) értékét tartalmazza. [18]

### A DMR címzési módjai, hálózati és szolgáltatásazonosítással kapcsolatos kódok

A DMR esetében alapvetően kétféle címzési módot definiál a szabvány: az egyik a *csoportcímzés*, amivel a hívócsoportokat azonosítják a benne lévő készülékek számára, megkülönböztetve a más csoportoknak szóló üzeneteket (pont-többpont kommunikáció). A másik az *egyedi címzés*, ami egyedi rádiókészülékeket azonosít, amivel egyéni hívásokat (pont-pont kommunikáció) kezdeményezhetünk egy csoporton belül, de adott esetben csoporton kívül is. További hálózatazonosításra szolgáló kód a 4 bites CC vagy színekód, amit az azonos vagy átfedő földrajzi területen működő, de eltérő hálózatok (átjátszók, vagy direkt kommunikáció esetén hívócsoportok) megkülönböztetésére használnak. Hasonló a funkciója, mint az analóg rendszereknél alkalmazott szelektív hívókódoknak (CTCSS<sup>58</sup>, DCS<sup>59</sup>). A CC speciális értéke az 1111 bináris kód, amit direkt módú összeköttetésnél alkalmaznak.

A DMR szabványban a rádió egyedi azonosítója ID-je és a csoport ID is 24 bites azonosító, ami 1 és 16.776.415 közé eső szám lehet, ahogyan ez a szabvány ETSI 102-361-1 címzési eljárásokat bemutató táblázatában látható [16, p.117.]. Ezek értékét hexadecimális formában tartalmazza a táblázat. Az általános gyakorlat szerint a rádiók egy flottában folytonos ID tartományt képeznek, de ezt a felhasználó szabadon programozhatja.

<sup>52</sup> PF: Protect Flag – védelem jelző bit

<sup>53</sup> R: Reserved – fenntartott bit /későbbi használatra/

<sup>54</sup> FLCO: Full Link Control Opcode – teljes összeköttetés vezérlő műveleti kód

<sup>55</sup> FID: Feature Set ID – funkciókészlet azonosító

<sup>56</sup> SFID: Standardized feature set ID – szabványos funkciókészletű LC csatorna

<sup>57</sup> MFID: Manufacturer's Specific Feature set ID – gyártóspecifikus funkciókészletű LC csatorna

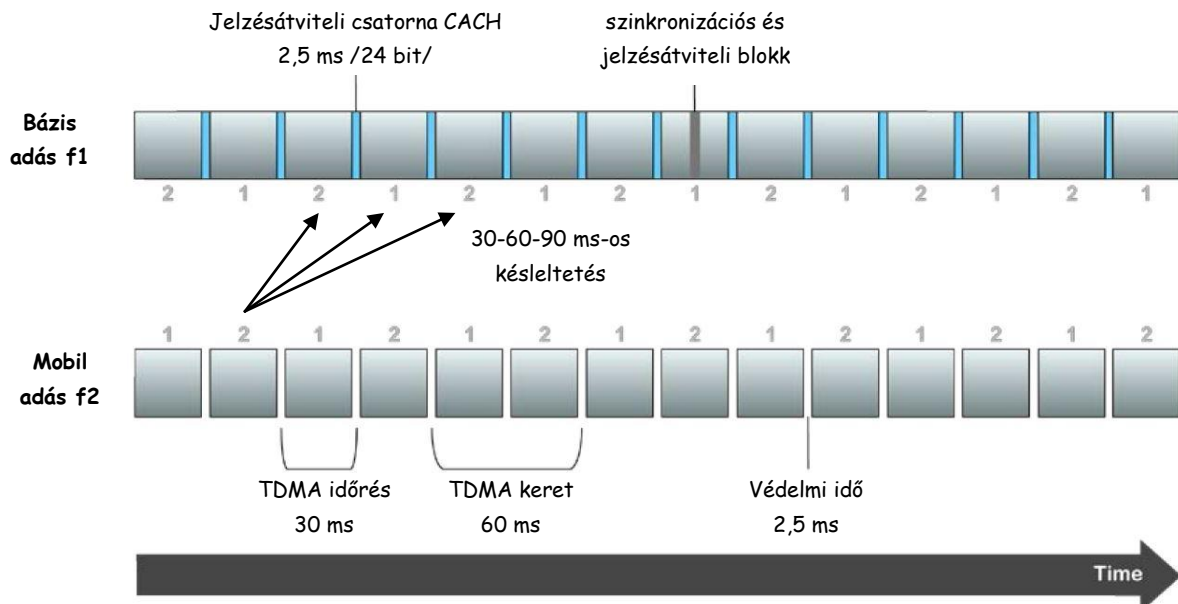
<sup>58</sup> CTCSS: Continuous Tone Coded Squelch System – folyamatos alacsony frekvenciával kódolt zajzár

<sup>59</sup> DCS: Digital Coded Squelch – digitálisan kódolt zajzár

### Két és egyfrekvenciás működési mód időzítése csatorna használata

Az összeköttetés frekvenciahasználata különféle szabvány által biztosított módozatokban lehetséges. Így megvalósítható a Tier2. szerinti átjátszón keresztüli egy és kétfrekvenciás működésmód, továbbá a Tier2 és a Tier1 szerinti közvetlen vagy direkt módú összeköttetések is (trónkölt rendszereket nem vizsgálók). Ezek leírását ismertetem beszédátvitel esetében a következőkben, mivel ezek ismerete a felderítés és azonosítás szempontjából lényeges.

A 14. ábra egy átjátszón keresztüli kétfrekvenciás átvitelt ábrázol, ahol az adásra és a vételre eltérő frekvenciát alkalmaznak. A két időrés kihasználása többféle konfigurációban lehetséges, ekkor 30 vagy 60 ms-os késleltetés van az átvitelben. Az első esetben eltoltt, míg a másodiknál igazított csatorna (keret) szervezésről beszélünk. Azonban létezik egyfrekvenciás átjátszási működési mód is, ekkor un. kétirányú csatornáról beszélünk (bi-direction channel). Ebben az esetben, az első időrésben a bázis-mobil, míg a másodikban a mobil-bázis irányú (vagy fordítva) kommunikáció zajlik megfelelő késleltetéssel. A második időrés azonban visszirányú jelzescsatornaként RC<sup>60</sup> is alkalmazható.



14. ábra: Kétfrekvenciás DMR adásmód keretszervezése [19, szerző által szerkesztett]

Azonban a témám szempontjából fontosabb *közvetlen módú* (átjátszó nélküli) *egyfrekvenciás* kommunikáció esetén csak az egyik időrés használható különálló beszédátvitel céljára, így itt nem érvényesül a TDMA spektrális hatékonysága. Közvetlen vagy direkt módú kommunikáció esetében a rádiók azonos frekvencián un. aszinkron módban kommunikálnak egymással, mivel nincs infrastruktúra (bázisállomás, vagy átjátszóállomás), ami időbeli szinkronizálást biztosítana a számukra az időrések tekintetében [16, 20].

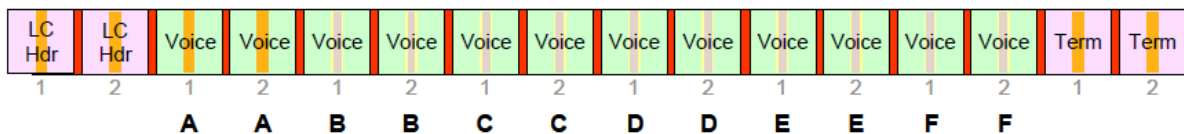
Emiatt, az ilyen rendszerek esetében szükséges valamilyen módon megoldani az ütközések elkerülésének problémáját. Analóg rádiók esetében elképzelhető, hogy mindkét azonos frekvencián egy időben sugárzott adás vehető, még ha torzítottan is, digitális adásoknál azonban a BER leromlása miatt egyik adás sem lesz sikeres. Ezen felül az adást egyszerre elindító digitális rádiók egyike sem lehet biztos abban, hogy az adásuk elérte a célcsoportot. Ennek esélye annál nagyobb, minél több rádió működhet a csoportban. Ötnél több rádió esetében már jelentősen megnő az adásütközések esélye. Emiatt a közvetlen módú

<sup>60</sup> RC: Reverse Channel – visszirányú jelzescsatorna

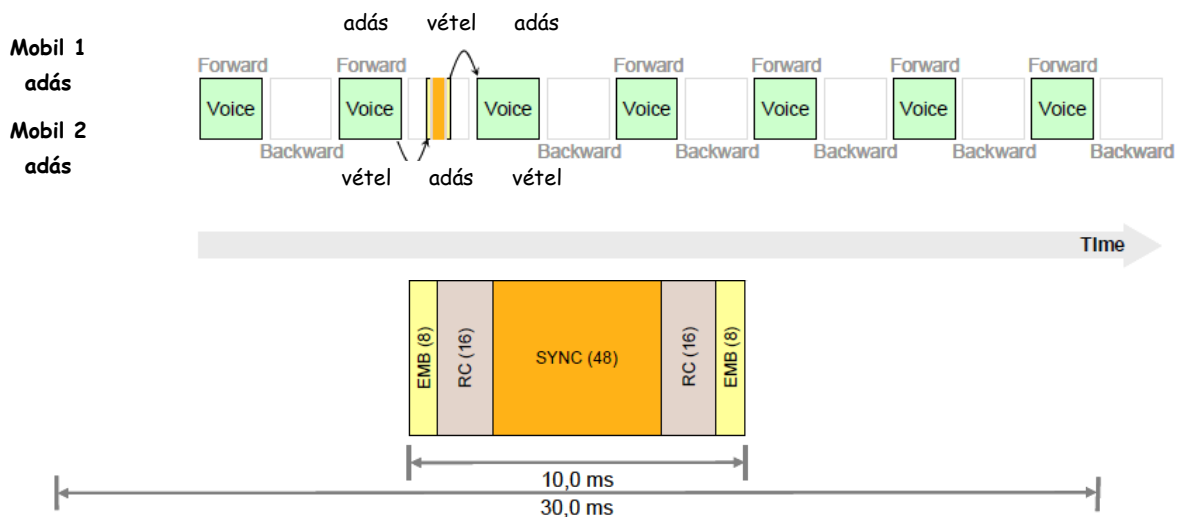
kommunikáció esetére olyan monitoring algoritmust kellett kidolgozni, ami figyeli a rádiócsatorna aktuális foglaltságát és segít elkerülni az adásütközéseket. A Motorola cég 2016 februári amerikai szabványbejegyzése ennek megoldására vonatkozik [21].

Ekkor az adást elkezdő rádió aszinkron időzítésű kisugárzásához szinkronizálódnak a hatókörzetében azonos csoportban lévő készülékek. Ha egy mobil adásra készül, előtte behallgat a környezetébe a saját color code, vagy csoport ID azonosítóval ellátott adásokat keresve. Ha adást talál, akkor elkezd dekódolni azt, hogy megtudja a forrás ID-jét azaz az adást sugárzó rádió azonosítóját. A rádió ID az adás elejét jelző LC (Link Control) burstban, vagy a beépített LC burstban, a beszédcsomagok fejlécében (voice header), vagy a CACH-ba beépített CSBK jelzésblokkban, illetve egyéb további adatcsomagokban is megtalálható (lásd ezeket fentebb).

A Tier 1 típusú (engedély nélkül alkalmazható készülékeknél) a másik időrésben összekötetés esetén az elsővel megegyező tartalmú adatok vannak duplikálva ez az úgynevezett folytonos kisugárzású mód (15. ábra). Míg Tier 2 kategória esetén a második időrés csak jelzésátvitelre használható direkt módban. Ez a 96 bites közvetlen módú visszirányú jelzésátviteli csatorna (Direct mode RC - Reverse Channel) 16. ábra, ami természetesen nem csak a közvetlen de az átjátszón keresztüli üzemmód esetében is alkalmazható. Az EMB mező tartalma megegyezik a 9. ábránál részletezett EMB tartalommal. Az ETSI DMR Tier 2. szabvány írja le a lehetőségeket. Ezzel különféle professzionális szolgáltatások vitelezhetőek ki, mint a prioritásos hívások, a rádiók távvezérlése, vész hívások bonyolítása stb.



15. ábra: Közvetlen módú egyfrekvenciás folytonos adásmód keretszerkezése Tier 1. esetén [16]



16. ábra: Közvetlen módú egyfrekvenciás adásmód keretszerkezése és a visszirányú jelzéscsatorna (RC) felépítése Tier 2. esetén [16, p. 36, szerző által szerkesztett]

### ***A keretszinkronizáció (Sync) folyamata és jelentősége a vétel és felderítés szempontjából***

A kommunikáció során a bevezető és befejező keretek, az „A” jelű időrések továbbá a fentebb látható visszirányú jelzéscsatorna egyaránt tartalmazza a 48 bites, időrések közepén elhelyezkedő szinkronizációs bitsorozatokat. Ezek segítik a vétel során a keretszinkronizálás folyamatának lebonyolítását, az időrések megtalálását, mivel annak közepén helyezkednek el. Átjátszón keresztüli üzemmód esetében mindig az átjátszó (BS – Base Station) időzítéséhez szinkronizálódnak a mobil vagy kézi rádiókészülékek (MS – Mobile Station) a rendszerben. Közvetlen/direkt módú kommunikáció esetén az adást kezdeményező MS lesz az időzítési referencia, az ellenállomások hozzá igazodnak.

Ha sikerült elérni az időbeli, azaz a bitszerinti szinkronizálást, vagyis a csatornára szinkronizáltuk a vevőt és annak időzítését, megindulhat az információ tartalom visszanyerése. A vétel során a speciális tartalmú szabványban definiált szinkronizációs bitsorozatokat segítenek megállapítani a vevő részére az alább felsorolt eseményeket/tényeket.

- azonosítják az időrések hasznos tartalmát (payload) a következő módokon:
  - o elkülönítik a beszéd és adat vagy vezérlő jel tartalmú időréseket valamint a visszirányú csatorna (RC-Reverse Channel) tartalmát egymástól;
  - o megkülönböztetik a mobiltól vagy a bázistól származó jeleket;
  - o azonosítják, hogy átjátszótól, vagy közvetlen módú készüléktől származik a kisugárzott jel;
  - o azonosítják /elkülönítik/ a TDMA közvetlen módú összeköttetés 1. és 2. időrészét.
- a szinkronizációs bitek alapján a következő szinkronizációs bitsorozatokat (SYNC Pattern) definiálták a szabványban, amelyek az időrések tartalmára utalnak:
  - o Átjátszótól származó beszéd /BS sourced voice/;
  - o Átjátszótól származó adat /BS sourced data/;
  - o Mobiltól származó beszéd /MS sourced voice/;
  - o Mobiltól származó adat /MS sourced data/;
  - o Mobiltól származó egyedi visszirányú adat /MS sourced standalone RC/;
  - o TDMA közvetlen módú beszéd az 1. időrészben;
  - o TDMA közvetlen módú adat az 1. időrészben;
  - o TDMA közvetlen módú beszéd az 2. időrészben;
  - o TDMA közvetlen módú adat a 2. időrészben.

A fenti adattartalmakat azonosító szinkronizációs bitek megállapításával tudják a dekódoló programok megállapítani, hogy milyen jelet vettek és azt hogyan kell a tartalmuknak/jelentésüknek megfelelően tovább feldolgozni.

A fentiek alapján látható, hogy a DMR de a P25 szabvány is meglehetősen összetett a TDMA működésmód miatt, és az IP alapú adatátvitellel és adatcsomagok felépítésével nem is foglalkoztam, csak a beszédinformációk átvitelét elemeztem, mivel ez volt az eredeti célkitűzésem. Azonban a beépített jelzésátvitelnek és az ismert paraméterű (szabványokban definiált) hibakorlátozó és hibajavító kódolásoknak köszönhetően megfelelő vevőmegoldásokkal lehetséges a DMR és más TDMA típusú jelek dekódolása, a megfelelő egyedi azonosítók kinyerése, illetve ha az adott típusú beszéddekódoló is rendelkezésre áll, akkor a beszédinformáció visszaállítása is a digitális jelfolyamból. Természetesen azt feltételezve, hogy nem alkalmaznak kiegészítő titkosítást az átvitel során. Azonban olcsóbb rendszerek esetében ez jelentősen megrághatja a rendszerek vagy egyedi készülékek árát, ezért ennek alkalmazása ezeknél anyagi megfontolást is igényel, ahogyan ezt egy publikációmban [22] kifejtettem.

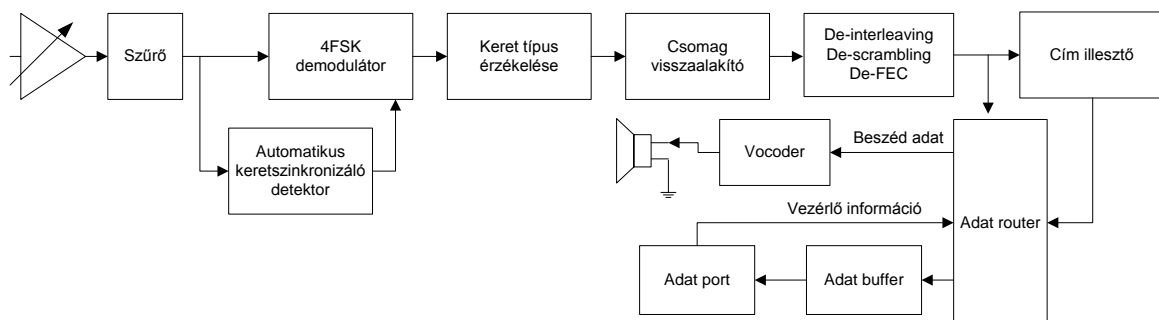
## A DMR alapú digitális PMR szabványok alapsávi jelfeldolgozása

Az adott rádiószabvány protokolljának megfelelően létre lehet hozni egy valódi jelfeldolgozó struktúrát, ami hardveres, tisztán szoftveres, illetve hibrid (hardver+szoftver) felépítésű is lehet. A lehetséges megoldásokat egy későbbi cikkben fogom áttekinteni. A DMR adásmódok vételi mechanizmusa teljesen hasonló, azonban a 4FSK, illetve P25 esetén a C4FM demodulátor frekvenciaeltolás paramétereik különböznek egymástól, valamint a keretszervezésben és a logikai csatornák típusában és felépítésében is vannak eltérések. A következő 2. táblázat a 4FSK/C4FM moduláció paraméterek eltéréseit foglalja össze. [12],[13],[14],[16]

1. táblázat: A TDMA szabványok modulációinak frekvencia-eltérés összehasonlítása

		C4FM	HCPM, HDQPSK	4 FSK	
Díbit	Szimbólum	P25 P.I. C4FM	P25 P. II. HCPM HDQPSK	DMR 4FSK	PDT 4FSK
01	+3	+ 1800	Nem értelmezhető, mert nem 4 állapotú	+1944	+n.a.
00	+1	+ 600		+648	+n.a.
10	-1	- 600		-648	- n.a.
11	-3	- 1800		-1944	- n.a.

Ennek ellenére a vétel folyamata – mely a felderítés szempontjából leginkább érdekel bennünket – egymástól jól elkülöníthető részfeladatok sorozatára bontható fel. A DMR típusú szabványok digitális vételéhez a 17. ábrán látható univerzális felépítésű struktúra rádióvevő alkalmazható [23], amelyik csak az alapsávi jelfeldolgozás folyamatát mutatja be, az RF vevőrészek ismertetése nélkül. A rádiófrekvenciás vevő tetszőleges kivitelű lehet, pl. direkt konverziós vevő, vagy valamilyen szélessávú szoftverrádió, de akár keskenysávú hagyományos vevő is.



17. ábra: A DMR vevő általános logikai felépítése [22, szerző által szerkesztett]

A fenti elrendezésnek megvalósítható mind a hardveres, mind a szoftveres implementációja. Mindkét esetben a különféle szabványok feldolgozási paramétereit kell megváltoztatni (a különálló blokkoknál) az egyes eltérő szabványoknak megfelelően. Erre a kézenfekvő megoldást a szoftverrádió (SDR) technológia jelenti, azonban az alkalmazott hardvertől függően ennek kivitelezése a gyakorlatban többféle módon történhet: hagyományos mikroprocesszorral, DSP<sup>61</sup>, FPGA<sup>62</sup>, a CML Microcircuit cég által alkalmazott

<sup>61</sup> DSP: Digital Signal Processor

FirmAsic<sup>63</sup> technológia segítségével. Ez utóbbi a legújabb CMX7341 típusú rendszerchip segítségével szinte az összes típusú analóg és digitális PMR szabvány vételére képes [24].

A szoftveres megoldások közül a DSD Plus alkalmazást említeném meg [25], amelyik akár egy olcsó szélessávú rádióvevő komplex kimenőjelét is képes feldolgozni egy hagyományos számítógéphez csatlakoztatva annak digitális kimenetét és annak jelét az említett szoftverrel feldolgozva. A program képességei láthatók a következő 18. ábrán:

Event Log Features							
FORMAT	Voice	CC-Decode	Radio ID	Talkgroup	Access Code	Time-Slot	GPS Data
DMR	YES	YES	YES	YES	CC	YES	YES
D-STAR	NO						
IDAS	YES	NO	YES	YES	RAN	N/A	
NXDN	YES	YES	YES	YES	RAN	N/A	
P25	YES		YES	YES	NAC	N/A	
ProVoice	YES		YES	YES			
X2-TDMA	YES					YES	

18. ábra: A DSD plus szoftver képességei [25]

## A KOMMUNIKÁCIÓS ELLENŐRZÉSSEL KINYERHETŐ INFORMÁCIÓK

A rádiók egyedi modulációs paramétereiből kézi, vagy automatikus jelelemzés segítségével megállapíthatók az 1. táblázatban összefoglalt modulációs paraméterek 4FSK frekvencia-eltérések. Ezekből és más egyéb paraméterekből pl. a 48 bites ismert keretszinkronizációs bitsorozatokból (P25 és DMR esetében egyaránt) következtetni lehet az adás szabványára, továbbá a DMR-nél részletesen leírt (de a P25-nél is nagyrészt érvényes) egyéb információkra pl. az adás irányára (felmenő, lejövő, közvetlen módú), az aktuális átvitel tartalmára (beszéd, adat, vezérlőjel), a használt TDMA időrés számára.

A hálózat vagy átjátszó azonosítására a P25 esetében a 12 bites NAC kód, míg DMR-nél a 4 bites CC színekód szolgál az analóg rendszereknél alkalmazott CTCSS és DCS kódokhoz hasonlóan. Ezek elkülönítik az azonos földrajzi területen működő, de egymástól független hálózatokat, de egyéb információt is jelenthet adott értékük, pl. direkt módú összeköttetésre utalhat.

A hálózaton belüli hívócsoportok (felhasználók adott szempont szerinti beszédcsoportjainak) azonosítására szolgálnak a P25 esetében a 16 bites Talk Groups ID (TGID), illetve DMR esetében a 24 bites Group ID kódok. Ezek speciális értékeiből is további következtetések vonhatók le a rendszerekkel kapcsolatban, pl. a hívócsoportok számára és rendszeren belüli elérhetőségére vonatkozóan.

Az egyedi készülékek azonosítására szolgálnak a P25-nél és a DMR-nél is egyaránt 24 bites Unit ID, melyből egyértelműen azonosítani lehet a kommunikációban résztvevő rádiókészülékeket. Két típusa van a Source ID a hívást kezdeményező (adó) címe, míg a Destination vagy Target ID a hívott fél (a vevő) egyedi címe. Az ID kódokat a felhasználók szabadon programozhatják a készülékbe.

A gyártóazonosító MFID kódok a gyártóspecifikus átvitel jellemzőire utalnak, melyek a szabványostól eltérő funkciókat is alkalmazhatnak az átvitel során.

A fentiek jóval több műveleti információt hordoznak magukban, mint az analóg rádiók vételéből származó adatok.

További információkhoz juthatunk az átvitel titkosításával, védelmével, az alkalmazott beszédkódoló típusával, illetve a kommunikáció formája, módja, tartalma tekintetében, még akkor is, ha nem tudjuk visszaállítani az eredeti hangüzenetet vagy adattartalmat.

<sup>62</sup> FPGA: Field Programmable Gate Array

<sup>63</sup> FirmAsic: ún. Function Image-ek betöltésével konfigurálható a vevő képessége és működés módja

## ÖSSZEGZÉS

Jelen cikkben és annak első részében [1] bemutattam és összefoglaltam az FDMA és TDMA típusú elterjedtebb digitális PMR szabványok jellemzőit, működés módját. Elemeztem és összefoglaltam a rádiófelderítés által az ilyen típusú kommunikációs 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.

Az összefoglalás megfelelő technikai alapot jelent egy digitális PMR-ek univerzális vételére szolgáló összeállítás megtervezésére, illetve elvárható technikai műveleti képességeinek meghatározására, és gyakorlatban történő kipróbálására. További kutatásaimat ebben az irányban kívánom folytatni.

### Felhasznált irodalom

- [1] Balog Károly: Digitális PMR rendszerek összehasonlítása I., Hadmérnök IX. évfolyam 3. szám - 2014. szeptember pp. 98-112. ISSN 1788-1919;  
[http://hadmernok.hu/143\\_08\\_balogk.pdf](http://hadmernok.hu/143_08_balogk.pdf)
- [2] Trevor Laughton: China's Trunking Strategy, Tait Communications 2012  
[http://www.taitradio.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/79605/Chinas-Trunking-Strategy.pdf](http://www.taitradio.com/_data/assets/pdf_file/0009/79605/Chinas-Trunking-Strategy.pdf) (2016. 04. 27.)
- [3] PDT Digital Trunking Communication Thematic Seminar Was Held In Shenzhen, 2010, 03. 23.; <http://www.pdt.org.cn/Html/971/980/1762.html> (2016. 04. 27.)
- [4] Actec: Standard and Patent, 2014/03/27 16:58  
<http://www.actecom.com.cn/en/tech/biaozhunyu zhuanli/11710.html> (2016. 04. 27.)
- [5] Actec, Standard and Patent, Standard introduction /2014-03-27 16:54/  
<http://www.actecom.com.cn/en/tech/biaozhunyu zhuanli/11708.html> (2016. 04. 27.)
- [6] Pengfei Sun, Guanyuan Feng, Kai Guan and Yicheng Zhang: Comparison Between Operational Capability of PDT and Tetra Technologies: A Summary, Q.-A. Zeng (ed.), Wireless Communications, Networking and Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering 348, pp. 179-187. Springer India 2016, DOI 10.1007/978-81-322-2580-5\_18
- [7] Pengfei Sun, Run Tian, Hao Xue and Ke Wan: Development and Analysis of Police Digital Trunking Channel Technology of PDT, Q.-A. Zeng (ed.), Wireless Communications, Networking and Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering 348, pp. 189-199. Springer India 2016, DOI 10.1007/978-81-322-2580-5\_18
- [8] Actec, Service and Support, May I ask the overall development situation of PDT technology and products?; <http://www.actecom.com.cn/en/faq/zaixianfuwu/> (2016. 04. 27.)
- [9] Professional Network Trunking Communication System, China Volant Industry Corporation [www.volinc.com](http://www.volinc.com) October, 2014.;  
<http://emarketing.volinc.com/file/2015/09/06/201509061058255.pdf> (2016. 04. 27.)
- [10] Hytera DMR Conventional Series Radios Release Notes for DMR Conventional Software Release version: 7.00, 2015. 02.; [http://ham-dmr.nl/?wpfb\\_dl=120](http://ham-dmr.nl/?wpfb_dl=120) (2016. 06. 18.)



- [11] Excera DMR Portable Radio EP8100 Specifications  
[www.excera.com.cn/en/EditorV8/UploadFile/2015317104223717.pdf](http://www.excera.com.cn/en/EditorV8/UploadFile/2015317104223717.pdf) (2016. 06. 18.)
- [12] Codan Radio Communications: P25 Radio System Training Guide, September 2013.  
[www.codanradio.com/wp-content/uploads/TG-001-4-0-0-P25-Training-Guide.pdf](http://www.codanradio.com/wp-content/uploads/TG-001-4-0-0-P25-Training-Guide.pdf)  
(2016. 07. 20.)
- [13] Tait Communications: Introduction to P25, TRG-00001-01-M Issue 1 October 2015  
<http://www.taitradioacademy.com/courses/intro-to-p25/> (2016. 07. 20.)
- [14] TIA Standard, Project 25 FDMA – Common Air Interface, New Technology Standards Project – Digital Radio Technical Standards, TIA-102.BAAA-A, September 17. 2003.  
[https://archive.org/stream/TIA-102\\_Series\\_Documents/Tia-102-baaa-aProject25FdmaCai#page/n0/mode/2up](https://archive.org/stream/TIA-102_Series_Documents/Tia-102-baaa-aProject25FdmaCai#page/n0/mode/2up)
- [15] ETSI Digital Mobile Radio (DMR) Standard TS 102 361: Systems: Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol, Part 2: DMR voice and generic services and facilities, Part 3: DMR data protocol, Part 4: DMR trunking protocol. ETSI 2005.  
<http://www.etsi.org/index.php/technologies-clusters/technologies/digital-mobile-radio>
- [16] ETSI TS (Technical Specification) 102 361-1 V2.4.1 (2016-02)  
Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol  
[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102300\\_102399/10236101/02.04.01\\_60/ts\\_10236101v020401p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/10236101/02.04.01_60/ts_10236101v020401p.pdf)
- [17] Alessandro Guido (DMR System Design Selex Elsag): How DMR Works, Benefits Part1 – Appendix on DMR Technology,  
<https://hamgear.files.wordpress.com/2014/02/dmr-primer.pdf> (2016. 05. 21.)
- [18] ETSI TS 102 361-2 V2.3.1 (2016-02)  
Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 2: DMR voice and generic services and facilities  
[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102300\\_102399/10236102/02.03.01\\_60/ts\\_10236102v020301p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/10236102/02.03.01_60/ts_10236102v020301p.pdf)
- [19] DMR Association: Benefits and Features of DMR, White Paper  
[http://dmrassociation.org/downloads/documents/DMR-Association-White-Paper\\_Benefits-and-Features-of-DMR\\_160512.pdf](http://dmrassociation.org/downloads/documents/DMR-Association-White-Paper_Benefits-and-Features-of-DMR_160512.pdf) (2016. 05. 21.)
- [20] Tait Radio Communications (White Paper): Technologies and Standards for Mobile Radio Communications Networks  
[http://utilities.taitradio.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/39461/tait\\_technologycomparison\\_whitepaper\\_eng.pdf](http://utilities.taitradio.com/_data/assets/pdf_file/0005/39461/tait_technologycomparison_whitepaper_eng.pdf)
- [21] Panpaliya et al.: Method for Resolving Call Collisions in a Digital Conventional Direct Mode, United States, Patent Application Publication. US 2016/0057782 A1, Feb. 25, 2016  
<http://www.freepatentsonline.com/20160057782.pdf>
- [22] Balog Károly: Digitális PMR-ek támadási és védelmi lehetőségei, Bolyai Szemle XXV. évfolyam, 2016/1. szám, ISSN 1416-1443  
[http://uni-nke.hu/uploads/media\\_items/bolyai-szemle-216-1.original.pdf](http://uni-nke.hu/uploads/media_items/bolyai-szemle-216-1.original.pdf) (2016. 09. 10.)
- [23] CML Microcircuits: CMX7241 and CMX7341 PMR Common Platform Processor  
<http://www.cmlmicro.com/DesignSupport/resources/2015/10/29/CMX7241-7341FI2-Datasheets> (2016. 09. 10.)

- [24] Wireless-mag.com: CML Microcircuits unveils single chip for all digital and analogue PMR systems 2016. 09. 06.
- [25] [http://www.wireless-mag.com/News/43102/cml-microcircuits-unveils-single-chip-for-all-digital-and-analogue-pmr-systems-.aspx?utm\\_medium=twitter&utm\\_source=twitterfeed](http://www.wireless-mag.com/News/43102/cml-microcircuits-unveils-single-chip-for-all-digital-and-analogue-pmr-systems-.aspx?utm_medium=twitter&utm_source=twitterfeed) (2016. 09. 06.)
- [26] RadioReference.com: DSD Plus  
<http://wiki.radioreference.com/index.php/DSDPlus> (2016. 09. 06.)