

Az FT8 diadalmenete

Jánosy János Sebestyén hőfizikus mérnök, irányítástechnikai szakmérnök, HA5GN, ha5gn@freestart.hu

Meglepő dolog történt az elmúlt másfél évben. Lett egy új digitális üzemmód, ami lavinaszerűen terjed, véleményem szerint sok kedvező jelenség együttes hatására. Ilyenek: a napfolt-minimum idején nehéz rádiózni, ehhez hozzáadódik a lakott terekben egyre növekvő elektromágneses zavar, ami a szórakoztató elektronikával és a takarékos világítástechnikával gyorsan terjed, a rosszul tervezett és olcsón gyártott kapcsolóüzemű tápegységek hatására. Az emberek egyre kevésbé tolerálják egymást, és a hatékony kültéri nagy rövidhullámú antennákat még kevésbé. A padlásterekben és lakószobákban sugárzó kompromisszumos, rövidített antennáknak jó föld kellene, de nincs. Amúgy is a lakóterben sugárzás csak növeli mások zavarását és figyelni kell az egészségre is, ezért a teljesítmény se lehet sok. Ez a leírás a témával ismerkedőket szeretné segíteni, az alapoktól kezdve.

Régóta vannak már fejlett digitális üzemmódok, amelyek a zaj alól (persze nem túl mélyről) képesek „kikaparni” a hasznos jelet, de ezeknél egy adás vagy vétel periódus 1-2 percig is eltarthat; RH-n az ilyet nehéz volt kivárni. Az új FT8 periódus-váltása csak 15 s, ez már összemérhető a szokásos CW QSO periódusával, ráadásul készült használható FT8 változat DX expedíciók, sőt, versenyzők számára is.

Mi is az a „digimód”?

Először is, kicsit helytelenül van elnevezve, mert benne van a „digit”, azaz a szám. Holott csak annyira „digitális”, mint akár a CW, akár az RTTY: számokat és betűket továbbít diszkrét állapotú jelekkel. Utána, a demodulálás során majd sok számítás történik, ami a CW és RTTY során nem, de az a közös, hogy a (bármilyen) moduláció során a moduláló jelnek csak előírt, diszkrét (meghatározott, korlátozott értékészletű) értékei lehetnek. A CW és RTTY esetén ez csak kettő. Az előbbinél a nulla teljesítmény és a maximális teljesítmény, az utóbbinál – frekvenciamoduláció esetén – két, adott frekvencia között ugrál, nálunk 170 Hz-et: az egyik a „Mark”, a jel, a másik a „Space” vagy a szünet frekvenciája. Az új digimódoknál is csak diszkrét értékek léphetnek fel, de esetleg több segédvív alkalmazásával ezek kombinációi egyidejűleg vannak elküldve.

Az analóg átvitelnél ugye az a jellemző, hogy a moduláló jel amplitúdója és frekvenciája bizonyos határok között (pl. 300 Hz...3 kHz) tetszőleges értéket vehet fel. A digimódok nagyon régóta velünk vannak. A CW és az RTTY is tulajdonképpen az, az SSTV viszont analóg, tulajdonképpen SSB-nek számítják. Meg egyezés szerint a CW és RTTY nem számít digimódnak. Az újnak hitt digimódok is már húsz éve velünk vannak. Nézzük át!

1998. – *PSK31*: Phase Shift Keying, 31 Hz sávzélességgel. Már ezt is számítógép dekódolta, és a képernyőn kellett a megjelenő hívójelek közül egyre kattintani. Előnye a kis sávzélesség volt, és persze az, hogy se morzézni, se angolul (nagyon) nem kellett tudni. Hátránya, hogy lassú volt és eleinte kevés volt a partner.

2001. – *FSK441*, 2002 – *JT6M*, 2003 – *JT65*, 2017. jún. 19. – *FT8*. Ezek mindegyike *Joe Taylor Jr.*, fizikai Nobel-díjas csillagász (rádióamatőr hívójele KI1JT) és csapata munkáját dicséri, fejlett matematikai módszerekkel próbálja a jeleket a zajból kihalszani, jelentős sikerrel. A *JT65* volt az egyik legsikeresebb a 2 perces periódusidővel. Az *FT8* előtti üzemmódokat EME, meteor scatter stb. üzemmódokra használták, értelemszerűen aránylag kevesen.

2017. júniusában a *WSJT* program (= Weak Signal Joe Taylor) jelent meg, amelyek a következő üzemmódokat ismeri: *FT8*, *JT4*, *JT9*, *JT65*, *QRA64*,

ISCAT, *MSK144*, és *WSPR*. Kevesebb, mint egy évre rá már letölthető volt a *WSJT-X*, amely (X = expedíció) úgy készült, hogy egy keresett expedíciós állomás (fox, a „róka”) itt már 5 jellel volt képes röviden és egyszerre QSO-zni a pile-up 5 állomásával (hound, „vadászkutya”) *FT8* üzemmódban, 5 frekvencián. A baker-szigeti expedíció 2018 nyarán már használta ezt az üzemmódot, amivel versenyezni még nem lehetett. A formátum ugyanis nagyon kötött: ellenőrzőszám, és egyéb, a versenyekre előírt információ a riport mellé már nem fért be. 2019. január elsejétől hivatalos a *WSJT-X* 2.0.0 verziója [1, 2], amelynél az *FT8* és az *MSK144* üzemmód nem kompatibilis a régivel, viszont a formátum egy sor európai és amerikai versenyhez hozzá van már igazítva. A program installálásához és kezeléséhez sok segítséget találhatunk a most 82 oldalas angol nyelvű [3] útmutatóban, amely mostanában havonta többször is frissül, e cikk írása alatt vagy háromszor.

Mennyire hatékony ez?

Erre voltam kíváncsi, ezért 2018 nyarának közepére sikerült alakítani az állomást, a megfelelő hardvert beépítve (erről később). Július végére megszűle-tett az első QSO, de nagy elfoglaltságom miatt hetente 4-5 óránál többet ritkán volt módomban adó elé ülni. (Előzőleg – sa-

ját hívójellel – egyetlen RTTY QSO-m se volt, utoljára 1970-es évek legelején gyakoroltam ilyet a HA5KFZ-n egy kopott, leselejtezett Lorenz lapíróval.) FT8 üzemmódban még így is 4 hét alatt (!) meglett a 100 ország, persze még nem igazolva; van, akinek ez napok alatt sikerült (folyamatosan QSO-zva). A LoTW-nek hála, másfél hét múlva, mikorra már 120 ország volt, összejött a 101 ország igazolása, és október 15.-ére meghozta a posta a „DXCC Digital” oklevelet. Mindezt eddig szigorúan 100 W-tal, 2-3 elemes RH yagikkal, az alsóbb sávokban tyúklétrás doublet-et használva! Ekkor megpróbálkoztam egy kis statisztikával, melynek eredménye a **táblázatban** látható.

A hívójellel stáuszolt diplomákat én kaptam. Barátaimmal (DXCC diploma-tulajdonosok) megpróbáltuk megbecsülni, hogy 2012 augusztusában hol járhatott az RTTY (ma már Digital) sorszám, ezt 4800-ra hoztuk azzal, hogy ennél biztosan csak kisebb lehetett. Ennek ismeretében már számolhattam a részarányt: az összes kiadott DXCC diplomának az RTTY csak 8 százaléka volt! Tehát ez az üzemmód az FT8 előtt igen nehéz volt, még az expedíciók se voltak könnyen elérhetőek RTTY üzemmódban. Pedig jobb volt a terjedés. Most meg négy hét alatt könnyen össze lehetett hozni! (Kissé furdal is a lelkiismeret azok előtt, akik ezért a – ma már közös – üzemmóddért éveket dolgoztak.) Mindegy: bátran állíthatjuk, hogy a módszer rendkívül hatásos. Egyébként a *CQ Magazine* már felismerte, hogy nem illik összemosni az RTTY és az FT8, azaz az ember és a számítógép teljesítményét: az ő versenyeken és diplomáikon az összes dígmód együttvéve az RTTY-tól

külön számít. Az ARRL versenyein is külön értékeli az FT8-at, bár RTTY versenyen indulnak – itt is csak a diploma közös.

A következőkben a „mitől ennyire jó?” pontok csak a megértéshez szükségesek, a használat-hoz nem.

Mitől ennyire jó? A zaj kezelése

Itt vissza szeretnék utalni egy zseniális magyar fizikusra, *Bay Zoltánra*, aki az egyik azok közül, akiknek elsőként sikerült észlelniük a Holdról visszaverődő radarhullámokat 120 MHz-en [4, 5]. A lényeg ugyanaz volt, mint amit nemcsak a rádiócsillagászok, de más, gyenge jelek mérésével foglalkozó tudósok is alkalmaznak: a vett jelek hosszú idejű integrálása.

Először is tévhit, hogy a zaj nem hordoz információt. A mindennapi életben is nagyon sok zajt meg tudunk különböztetni akár a fülünkkel is. A zaj paramétereit annál pontosabban állapíthatók meg a matematikai statisztika és a valószínűség-számítás eszközeivel, minél hosszabb ideig összegezzük, azaz integráljuk a zajt. (Feltételezzük, hogy a zaj természete ezalatt nem változik meg, tehát mintegy „stacioner”.) Bay Zoltán esetében egy visszaverődést a vevőben nem lehetett meghallani, mert a teljesítményből, antennából, visszaverésből, oda-vissza megtett útból stb. számított jel-zaj viszony érkezéskor csak 0,1-re (nem dB!) adódott, ami így érzékelhetetlen.

Igen ám, de a kísérletet megismételték, mégpedig 1000-szer. Már most a zaj által leadott munka az ismétlések számának négyzetgyökével, míg a hasznos jelé azzal lineárisan nő. Leegyszerűsítve ennek az az oka, hogy a hasznos jel – ha van – teljesítmé-

nye állandó, míg a zaj fluktuál – hol kisebb, hol nagyobb. Az ezer kísérletből a hasznos jel által leadott munka 1000-szeresre nő, a zaj munkája csak négyzetgyök(1000)-rel, és a kettő aránya így már az eredeti 31,6-szorosa lesz, az eredeti jel/zaj ami 0,1-re volt várható, így már 3,16-ra adódik, ami már érzékelhető. Ezzel érthető, hogy a JT65 nyolcszor olyan hosszú, 2 perces periódusa mért észlel sokkal mélyebben a zajban ülő jelet, mint az FT8 negyed perces vétele.

Mitől ennyire jó? A kódolás

De ez még csak a dolog első fele. Ahogy – mondjuk – gyengül a jel, nincs éles határ, hogy eddig vehető, ezután már nem. Először csak egy hiba ugrik be, aztán egyre több, míg végre értelmezhetlenné válik az egész. Ezért a jelet úgy kell kódolni, hogy a lehető legjobban hibátűrő, önjavító legyen. A továbbiakban a 72 bites rendszert ismertetem, az új WSJT-X FT8 és MSK144 üzemmódja ugyan már a 77-est használja, de a többi változatlanul a 72-est, és a 77-esről még nem találtam használható leírást. (Azóta [3] cikk B mellékletében megjelent egy rövid, hiányos leírás, de a lényeg a 72 biten is érthető.) A hasznos információ („payload”, amit át kell vinni), tehát mindössze 72 bit. A helyes átvitelt sokféleképpen próbálták régen is ellenőrizni. A legegyszerűbb az ősrégi paritás: 1 bájt 256 állapotú értékét megfelezték, és csak 128-at engedtek meg, így felszabadult 1 bit, amit úgy állítottak be, hogy a bitek száma egy bájtban mindig páros legyen. A vevőoldalon, ha talált egy páratlan számú bitet tartalmazó bájtot, tudhatta, hogy az hibás, és újrakérte. Baj akkor volt, ha egyszerre két bit fordult át, mert akkor a hibát a vevő nem detektálta: az 1 értékű bitek száma páros maradt.

A modern, matematikával jól megtámogatott rendszerek ennél jóval többet tudnak. Adott esetben 9 bájt (=72 bit) helyett 63 bájtot visznek át, tehát *hétyszer annyit*, mint amennyi a hasznos

Diploma	Dátum	Státusz	Sorszám	Részarány
DXCC Mixed	2007.06.24.	HA5GN	# 41 364	
DXCC CW	2012.08.28.	HA5GN	# 13 307	22 %
DXCC Phone	2012.08.28.	HA5GN	# 40 959	69 %
DXCC Digital	2012.08.28.	Becsült #	# 4 800	8 %
DXCC Digital	2018.10.15	HA5GN	# 5 783	

információ! Ráadásul a kódolás sokkal hatékonyabb, mintha csak hétszer megismételnénk a hívójelünket. (Hozzáértőknek: a JT65 a Reed-Solomon, az FT8 az LDPC= „low density parity check” módszerrel használja.) A lényeg az FEC (Forward Error Correction), tehát a hibajavításhoz szükséges előzetes információ a hasznos 9 bájttal mellette még 54 további bájttal hozzá van téve, és a hasznossal együtt elküldve.

Valamilyen sikerrel tehát majd megérkezik a 63 bájttal a dekódor feladata, hogy kibogozza ebből a hasznos 9 bájttal, továbbá ebben a 9 bájttal eldugott végletekig tömörített információt. A 9 bájttal, benne a 72 bittel jóval több információt hordoz, mint 9 alfanumerikus karakter. Nézzük meg, hogyan tudunk tömöríteni! Előírjuk, hogy a hívójelben csak az angol ABC 26 nagybetűje szerepelhet, meg a 10 számjegy, de nem minden kombinációban. Ekkor az összes jelenlegi szabályos hívójel leírható a következő számú kombinációval: $K = 37 \cdot 27 \cdot 10 \cdot 27 \cdot 27 \cdot 27$ ami kicsit több mint 196 millió. A fenti szorzat azt jelenti: Hat jegy van, az első jegye a hívójelnek lehet betű (26) vagy szám (10), ez ugye 36, a 37-dik kombináció azt jelzi, hogy nincs ez a jegy. A második jegy betű (26 + 1, ahol a 27. megint csak azt jelenti, hogy ez a jegy nincs), harmadik jegy az mindenképpen szám és kötelező (10), a következő 27-ek pedig újra csak 26 betűt jelezhetnek, ahol a 27. itt is annak a jele, hogy az adott jegy nincs használva.

Tehát a „KIJT” hívójel esetében úgy kódolunk, a hatból az első és az utolsó jegy nincs, a második betű, a harmadik szám, a negyedik és ötödik betű. Részletesebben: [6, 7]. Most már nyilvánvaló, hogy 2 egymást követő szám nem kódolható, tehát a jubileumot jelző hívójel sem, de nincs helye a /P, /MM, /M kombinációknak sem. Ez az újabb, 77 bites módszerrel részben megvan oldva, és persze itt is használható a „nem szabvány” közlemény fogalma is.

Ugyanakkor kettő 28-adik hatványa nagyobb, mint 268 millió, több, mint a fenti 262 kombináció, tehát a fentieket kielégítő alakú hívójel kódolásához 28 bit tökéletesen elég, több is a kelleténél. A fennmaradó több mint 6 millió esetet olyan üzenetekre használjuk el, mint „CQ”, „de”, „QRZ”, még még jó néhány egyéb, pl. a vételi frekvencia 3 számjegyben, stb. Van még a „riport” jelzése, ez három jegy, az első az mindig + vagy -, a második az 0-tól 5-ig számjegy, a harmadik egy számjegy. Az FT8 számára lehetséges riportok: -50...+49, csak ilyen adható meg, és ez a dB-ben értendő jel-zaj viszony. Ugyanakkor valamennyi létező négy számjegyes QRA kocka (pl. JN97) elfér 15 bitben, hasonló módon.

Két hívójel és egy QRA kocka kódja tehát $28 + 28 + 15$ bit, ez összesen 71 bit. Marad még egy, ezzel jelezzük, hogy szabvány üzenetről van-e szó, vagy ún. „tetszőlegesről”. Ha az utóbbit választjuk, akkor max. 13 betűs üzenetet küldhetünk, amelyben szerepelhet a 26 angol nagybetű, a 10 számjegy, a betűköz, meg néhány írásjel. Ha a hívójelünk speciális, akkor egy „tetszőleges” üzenettel segíthetünk a magunkon: pl. „CQ OH2/HA5GN” mehet, ez a betűközzel együtt 12 karakter, de ide már QRA kocka nem fér be. Látjuk tehát, hogy minden üzenet a végletekig kötött, semmilyen „elhajlásra”, egyénieskedésre nincs lehetőség. Valamit valamiért!

Mitől ennyire jó? A szinkronizálás

A zajhalászaton és a tömörítésen kívül még egy harmadik lába is van a dolognak: minden olyan tudást használunk fel, amivel elkerülhetjük, hogy az üzenetből kelljen azt az információt kihálaszni. Ilyen nagyon sok van. Vegyük sorra:

Világidő: minden periódus – adási, vételi egyaránt – kerek negyed-perckor kezdődik. Ehhez valamennyi WSJT-t futtató szá-

mítógépet legfeljebb 1 s hibával a világidőhöz kell igazítani. Pontosan tudjuk, mikor kell adni, mikor kell figyelni! Ehhez még az amatőrök hozzátettek egy praktikus dolgot, amit a program nem ír elő:

Az európai amatőrök mindig egészkor és félkor CQ-znak, a DX-ek pedig, akik európaiat hívnak: negyedkor és háromnegyedkor adnak – vagy ugyanekkor CQ-znak. Ez automatikusan továbbterjed a QSO folyamán: így az európaiak mindig egyszerre adnak, akárhol tartanak is a QSO-ban, és a velük dolgozó DX-ek is, egy periódussal később. Így mindenki számára elkerülhetővé válik az erős közeli állomások QRM-je, amely különösen 50 MHz-en lehet igen jelentős.

A program gondoskodik arról, hogy az adás beosztása pontosan kötött. „Egészkor” a program kiadja az adóra a PTT jelet, rá 0,2 s-ra indul az adás, és a 13. másodperc végéig tart, majd leáll. Ekkor a vételi oldalon beindul a dekódor, jó esetben 1 s alatt dekódol, hogy mire a 15. másodperc végén beindul az eddig vevő válasza, már kész legyen az új válaszüzenet. Ahhoz, hogy ez a szinkron ne boruljon fel, 1 s alatt kell legyen az órák időkülönbsége.

Előfordul, hogy a dekódor megcsúszik, mert túl sok üzenet van a sávban, vagy mert a CPU nem elég gyors. Ilyenkor is időben elindul a válasz, de még a régi üzenettel. Ha a dekódor elkészül, az üzenet gyorsan lecsérlődik. Ez vagy felborítja a partner dekódorát, vagy – jó esetben, rövid késés esetén – nem. Ha a töredék üzenet a partnernél már nem dekódolódik, akkor egy félperces periódus-páros elveszett, mert meg kell ismételnünk. Ezt a csúszást operátor úgy veszi észre, hogy időben elindul az adás, de a múltkori az üzenettel, majd beugrik a partnernek dekódolva, és adás közben lecsérlődik a válasz. A QSO szövegek kötöttek, csak a hívójel, QRA kocka meg a riport változik.

Nagyon sok egyéb szinkronizációt és előzetes megállapodást