

Comment ça marche ?

Les modes numériques radioamateurs

2 – La télégraphie (CW)

Par le radio-club F6KRRK

Après les généralités, voici le mode numérique le plus ancien des radiocommunications, bien avant l'analogique. Il perdure encore chez les radioamateurs après des décennies de bons et loyaux services, en particulier dans la Marine.

La radiotélégraphie utilise le mode numérique le plus simple qu'il soit avec une modulation "tout ou rien" dite "OOK" (On/Off Keying). Le codage de l'information se fait par une combinaison de durées du "tout" et du "rien". Dans le domaine des télécommunications, le code "MORSE" s'est imposé avec les transmissions filaires, puis ensuite avec les transmissions radio, donc aussi pour les radioamateurs. Il est dit "orienté caractère", car il code du texte. Le code a été optimisé pour transmettre un texte en anglais le plus rapidement possible et par la suite adopté par toutes les langues dans un but de standardisation. Pour accroître encore plus le débit d'information, on a inventé pour celles dites "de service" des mots codés raccourcis tels ceux du code Q employé par les radioamateurs ⁽¹⁾. Il a l'avantage d'être universel.

Le code morse utilise une modulation des durées des "tout" et des "rien" selon deux valeurs :

- un "point" = durée élémentaire de référence de temps ("ON").
- un "trait" = durée égale à trois points ("ON").
- espace entre deux états "ON" : durée d'un point ("OFF")
- espace entre caractères : durée d'un trait ("OFF").
- espace entre mots : durée \geq deux traits ("OFF").

Voir sur la figure 1 le code Morse standard.

Code Morse international	
A • —	V • • • —
B — • • •	W • — —
C — • — •	X — • • •
D — • •	Y — — • —
E •	Z — — • •
F • • — •	, • — — • • • —
G — — • •	. — — — • • • —
H • • • •	? • • — — • • •
I • •	/ — • • • —
J • — — —	@ — — • • • •
K — • — •	1 • — — — —
L • — • •	2 • • • — — —
M — —	3 • • • — —
N — •	4 • • • • —
O — — —	5 • • • • •
P — • — •	6 — — • • •
Q — — • •	7 — — — • •
R • — • •	8 — — — • •
S • • •	9 — — — — •
T —	0 — — — — —
U • • —	

Figure 1 : Le code Morse standard

Il existe des extensions : tiret, croix, deux points, apostrophe, caractères accentués, etc.

Naturellement, tous les caractères commencent par un "ON". Lorsque ce dernier est "écouté" sous forme de son audio (600 à 1000 Hz), la "musique" d'un caractère peut être décodée "à l'oreille" grâce à son rythme, exactement comme lorsqu'on entend "pom pom pom poommm", on pense tout de suite à la cinquième symphonie de Beethoven ⁽²⁾.

Le code Morse permet de larges imperfections de manipulation qui sont d'autant mieux acceptées que le texte manipulé est "attendu". Pour le texte important, il suffit de le répéter pour réduire les erreurs.

La télégraphie et les automates

On considère deux cas. Soit l'automate Réception est utilisé pour décoder de la CW manipulée manuellement, soit il est utilisé pour décoder de la CW générée par un automate Emission. C'est dans ce second cas que l'on peut vraiment parler de mode numérique.

Naturellement, c'est dans le premier cas que l'opération est la plus délicate à cause de la méconnaissance du rythme horloge qui peut varier en cours de transmission.

En numérisant les points, les traits et les blancs, on obtient une suite de données dont la figure 2 donne un exemple.

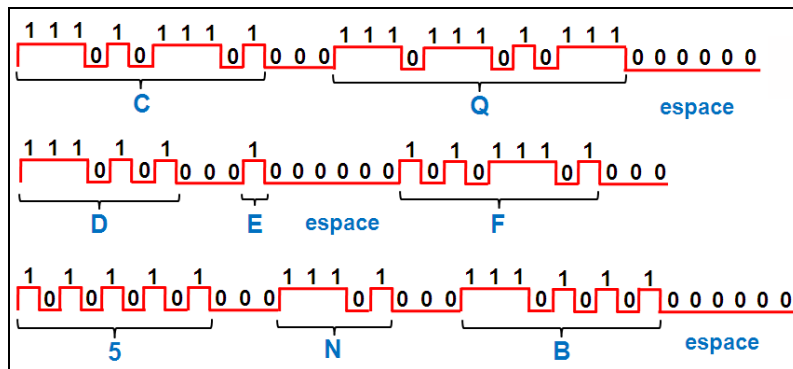


Figure 2 : Numérisation de la phrase "CQ DE F5NB"

Pour le décodage, on voit que l'on ne peut pas traiter les données reçues par trames de longueur constante. Il faut les traiter caractère par caractère en se synchronisant sur les espaces. Voir sur la figure 3 un exemple d'arbre de décodage à partir d'un point à la suite d'un espace.

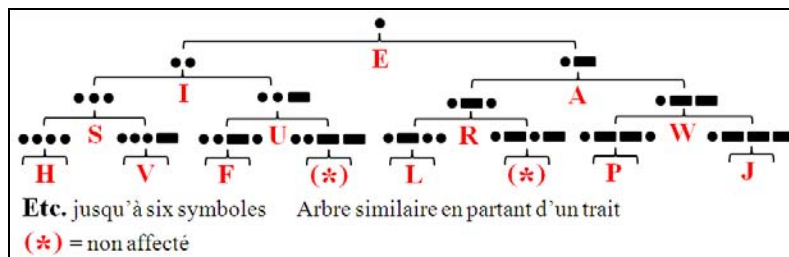


Figure 3 : Exemple d'arbre de décodage en partant d'un point

Il existe un arbre similaire à partir d'un trait. L'algorithme s'arrête quand on rencontre un espace. Noter qu'au-delà d'un groupe de quatre symboles, il y en a de plus en plus qui sont non significatifs.

Exemple de processus de décodage

- Echantillonnage du signal BF à 8 kHz sur 12 bits.
- Filtrage passe-bande "gaussien" $F_0 = 1 \text{ kHz}$, $B = \pm 150 \text{ Hz}$.
- Détection crête plus moyennage sur un temps estimé T .
- Seuil du comparateur fixé à -NdB au départ.

- Seuillage à la suite duquel on obtient des "0" et des "1".
- Récupération de l'horloge
- Récupération de la durée moyenne des suites de "1"
- Discrimination entre les points et les traits.
- Décodage des caractères

Ensuite, tout au long du message :

- Affinage de la durée T (pour une manipulation manuelle)
- Affinage du rapport S/B (optimisation de N)

Nous devons travailler en temps différé de l'ordre d'une seconde. Nous aurons deux mémoires d'une seconde, l'une qui restera constante le temps que l'on mette à jour les paramètres et l'autre sous forme de registre FIFO (**F**irst **I**n, **F**irst **O**ut) qui nous servira à décoder les caractères. Les deux tâches simultanées communiquent entre elles. Et si son processeur est suffisamment rapide, on pourra y ajouter une analyse par un embryon d'intelligence artificielle. On pourra alors espérer atteindre les performances du cerveau humain avec un rapport (S+B)/B qui devrait descendre en dessous du décibel (rapport S/B \leq -6 dB).

Particularités techniques

Puissance PeP, puissance moyenne.

La plupart des transceivers radioamateurs transmettent la télégraphie dans un canal téléphonie, le cas échéant en diminuant la largeur du filtre de canal (filtre CW de 250 à 500 Hz de largeur) ⁽³⁾. Filtre CW ou pas, ce n'est pas l'idéal pour le rendement. En effet, si la téléphonie a besoin de linéarité pour le PA, ce n'est pas le cas pour la télégraphie qui au lieu de la classe AB pourrait utiliser un ampli en classe B "limitée", voire C ou E dans le cas d'une bande de trafic étroite. Le rendement de la classe C par rapport à la classe AB double en pratique. Mais d'un autre côté, le rapport Puissance moyenne / Puissance Pep est double pour la CW par rapport à une téléphonie raisonnablement compressée (40% pour 20%). En théorie, si l'on passe en classe B en télégraphie au lieu de la classe AB en téléphonie, avec la même alimentation et le même PA, on devrait sortir la même puissance PeP. Mais en pratique, cela se complique car l'entrée télégraphie est utilisée également pour les modems FSK où la puissance moyenne est égale à la puissance PeP. Alors, quand on passe en CW, on réduit la puissance PeP de deux fois (à moins que l'on ait suffisamment dimensionné le PA, son poids, son encombrement et son prix).

Cas du brouillage (QRM)

Nous avons vu dans les généralités la diminution possible de la dynamique quand on écoute la télégraphie dans un canal téléphonique. Dans le monde radioamateurs, nous aurons un autre problème, même dans un canal télégraphique, c'est le brouillage par plusieurs stations utilisant le même canal. En général les fréquences ne sont pas exactement les mêmes et nous décodons les stations avec des tonalités différentes. C'est alors là que le cerveau humain montre sa supériorité sur les automates de décodage. Il est capable (avec un peu d'entraînement) de séparer une tonalité parmi plusieurs, même ayant un niveau plus faible. On pourrait avec un automate obtenir le même résultat au prix d'une bonne augmentation de la puissance de calcul et à condition de lui dire à partir d'une analyse spectrale du canal, quelle tonalité on veut décoder.

Mode QRSS (CW lente)

Son nom est dérivé du code Q, "QRS" signifiant "diminuer la vitesse". Dans ce mode, la durée du point ($T_{(p)}$) est comprise entre 1 et 60 secondes. Il est principalement utilisé sur les bandes 137,6 à 137,8kHz et 500 kHz.

La réduction de la vitesse permet de diminuer la bande passante du filtre de réception et ainsi de gagner en sensibilité de $[10 \text{ Log}(\Delta T_{(p)})]$, soit 10 dB si la vitesse diminue de 10 fois.

Dans le prochain "Comment ça marche", nous verrons le mode RTTY qui permet d'améliorer le débit de transmission pour les "ankylosés" de la main et de l'oreille (cas du rédacteur).

La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@orange.fr".

Notes

- (1) *Ce qui fait dire que si la télégraphie n'est pas un langage, le code Q, oui, et universel en plus, mais pas très pratique pour faire de la littérature.*
- (2) *Ou au "V" de la Victoire, utilisé par la BBC pendant l'occupation.*
- (3) *Si la réduction de la bande passante est bénéfique pour un décodage par automate, ce n'est pas aussi évident pour un décodage à l'oreille. En effet, celle-ci n'a pas une courbe de réponse linéaire avec un maximum de sensibilité entre 1 et 3 kHz. Alors un bruit de fond situé dans cette bande sera plus désagréable qu'un bruit dans toute la bande phonie (300-3000 Hz). Ainsi la réduction de bande n'améliore le décodage qu'en cas de QRM.*