

Comment ça marche ?

Les transmissions radio-numériques

11 – Formatage des données

Par le radio-club F6KRRK

Après avoir vu les différentes modulations numériques, le canal de transmission et les procédés employés pour contrer ses imperfections, nous allons aborder le formatage des données.

Exposé du problème

En analogique nous utilisons nos sens et notre cerveau pour effectuer un traitement des erreurs de transmission. En numérique on pourrait faire la même chose mais cela demanderait une largeur de bande bien supérieure à l'analogique pour un même taux d'erreurs.

On a alors recours à des systèmes de codage qui sont tous basés sur la suppression des informations redondantes et inutiles. Mais les codages ne tolèrent pas les erreurs et si malgré tout il en reste une, on se débrouille pour qu'elle survienne dans un temps le plus court possible, d'où la nécessité de découper le flot de données en paquets : les trames. Nous sommes alors en temps différé dû au retard imposé par le traitement des trames. En transmission électromagnétique, chaque trame est insérée dans une séquence appelée "slot".

Composition d'un slot

Lors de la lecture d'un slot, nous sommes confrontés au problème général de la lecture optimale d'un baud de données (détermination de l'instant d'échantillonnage) et au problème de la synchronisation du début de la trame (détermination du premier bit valide). Nous trouverons alors toujours la séquence ci-dessous pour un slot.

Préambule	Synchro Trame	Trame (données)
-----------	------------------	--------------------

Le préambule

(1) Synchro bit

A l'émission, le préambule comporte au minimum une séquence binaire permettant à la réception de faire une synchronisation bit ⁽¹⁾. Le système le plus simple consiste à transmettre une suite de "0" et de "1". A la réception, on utilise une horloge ayant une fréquence n fois plus élevée que la fréquence de l'horloge émission. Souvent $n = 16$. Ensuite, on utilise un compteur remis à zéro par les transitions "0-1" et arrêté par les transitions "1-0". La moyenne des comptages sur plusieurs bits est utilisée pour "lire" la valeur du bit. La fonction peut être réalisée entièrement en logique câblée en utilisant un convertisseur A/N 2 bits formé d'un simple comparateur ⁽²⁾. C'est par exemple ce qui était fait dans les premiers modems 2FSK.

Elle peut être entièrement réalisée par logiciel en utilisant des convertisseurs A/N n bits aux sorties I et Q du convertisseur HF en bande de base (en général $n=16$).

Si la trame à transmettre est courte et les horloges émission et réception suffisamment stables, on peut se contenter du préambule pour la synchro bit. Sinon, on peut continuer à asservir l'horloge réception sur celle de l'émission tout au long de la trame, c'est simplement un peu plus compliqué.

(2) Scrambling

"Scrambling" veut dire "embrouillage". Cette technique est surtout employée avec les architectures radio ayant une dernière F-I nulle comme pour la BLU. Elle a deux rôles principaux : "remplir" le spectre (son enveloppe tendant vers le rectangle) et supprimer la composante continue. Voyons les en prenant comme exemple la BLU décodée à la réception par la méthode du "Phasing".

a) *Spectre à enveloppe rectangulaire.*

Considérons la figure 1.

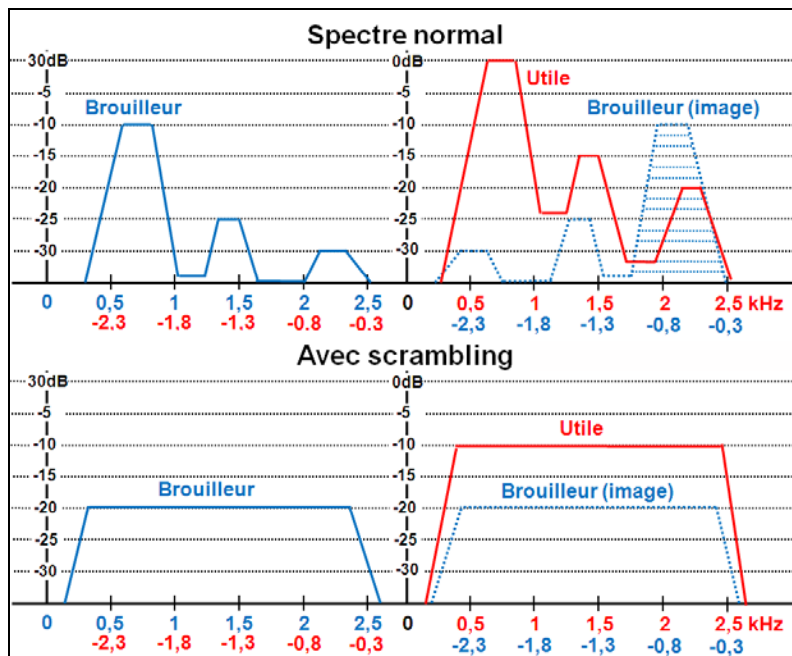


Figure 1 : Utilisation de la BLU pour illustrer le rôle du scrambling

Soit une phonie (signal utile) dans un canal BLU+ de 2,7 kHz. Le principal de l'énergie se trouve dans une bande égale au dixième de la bande BLU. Nous obtenons le spectre rouge en haut à droite de la fig. 1.

Soit une autre phonie dans le canal adjacent inférieur qui se situe pour nous dans le canal BLU-, avec un niveau de puissance 20 dB au dessus du signal utile, soit -10 dBc pour le spectre replié (diaphonie de -30 dB résultant du phasing). Nous obtenons le spectre bleu en haut à gauche de la fig. 1. Nous voyons que malgré une puissance moyenne plus faible, certaines parties du spectre du brouilleur viennent "écraser" le spectre du signal utile ⁽³⁾.

Dans le cas de ce signal analogique, il n'y a malheureusement rien à faire pour améliorer les choses, mais dans le cas d'un signal numérique naturel où cette configuration spectrale peut arriver souvent aléatoirement, entraînant une dégradation du taux d'erreurs, cela peut s'arranger avec la méthode du "scrambling" qui a pour effet de répartir également la densité spectrale dans la bande (spectre rectangulaire). Alors nous conservons notre rapport S/B de 10 dB dans toute la bande, comme montré en bas de la figure 1.

b) *Suppression de la composante continue.*

Avec les conversions en bande de base, nous rencontrons le problème de la fuite de l'OL qui se traduit à la sortie par une composante continue, pas toujours évidente à traiter et qui peut diminuer sérieusement la dynamique. Avec la phonie BLU, ce n'est pas un problème car la fréquence de coupure basse se situe vers les 200 Hz et un simple condensateur en série suffit à régler le problème. Avec les données numériques, il faut faire en sorte que la bande du signal ne se rapproche pas trop du zéro, c'est-à-dire éviter les longues suites de "0" ou de "1". C'est effectivement le résultat du scrambling.

c) Mise en œuvre

Elle consiste à appliquer une fonction récursive aux données. Cette fonction constitue un encodage des données que seuls ceux qui en auront connaissance pourront décoder. Voir sur la figure 2 une mise en œuvre en version câblée. Elle peut aussi être logicielle.

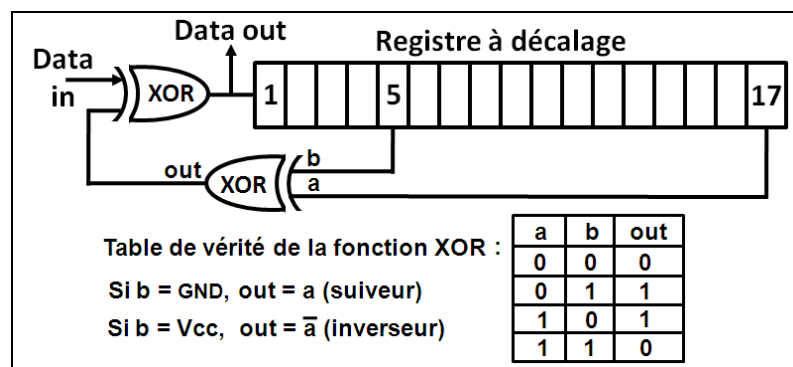


Figure 2 : Scrambling : exemple de fonction câblée

Le scrambling peut être appliqué à tout le slot, préambule compris, ou seulement aux données utiles. Avec le schéma de la figure 2, on peut retrouver au maximum des suites de 17 fois "1" et de 16 fois "0". Si $F_{\max} = 2400$ Hz, $F_{\min} = 140$ Hz et on entre dans un canal BLU.

A la réception le dé-scrambling est effectué avec la fonction inverse. Nous avons sur la figure 3 un exemple câblé pour le dé-scrambling de la fonction de la figure 2.

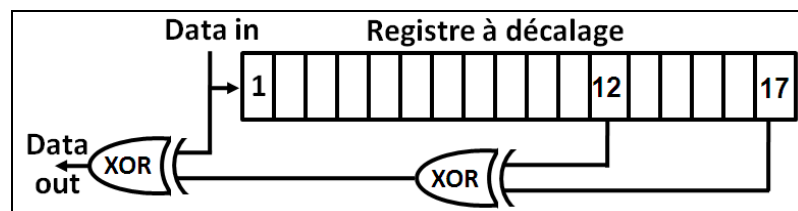


Figure 3 : Exemple câblé de dé-scrambling à la réception du scrambling de la fig. 2

(3) Egalisation

L'égalisation a pour but, soit de corriger l'imperfection du canal de transmission, soit d'égaliser les niveaux d'un signal multi-porteuses.

L'imperfection du canal se rencontre surtout dans les liaisons HF par réflexion ionosphérique. Le procédé consiste à transmettre périodiquement une trame avec une séquence particulière que le récepteur analysera à l'aide d'une transformée de Fourier complexe. Celle-ci permettra de synthétiser un filtre numérique compensateur inséré juste après la récupération des données numérisées.

Dans le cas d'un signal multi-porteuses, comme avec l'OFDM, l'égalisation se simplifie et consiste à transmettre les niveaux relatifs des sous porteuses pour chacune des trames ⁽⁴⁾.

Dans les transmissions numériques radioamateurs, on ne retrouve pas les techniques d'égalisation, sauf lorsque le mode utilise des standards du commerce (DATV, DSSTV par exemple).

Synchro frame

La synchro frame permet de marquer le début de transmission des données utiles. Elle est constituée d'une suite de bits particuliers qui en principe ne doit pas, ou avec un très faible risque, survenir dans le paquet de données. Le mieux est de donner en exemple un système simple. Considérons la figure 4.

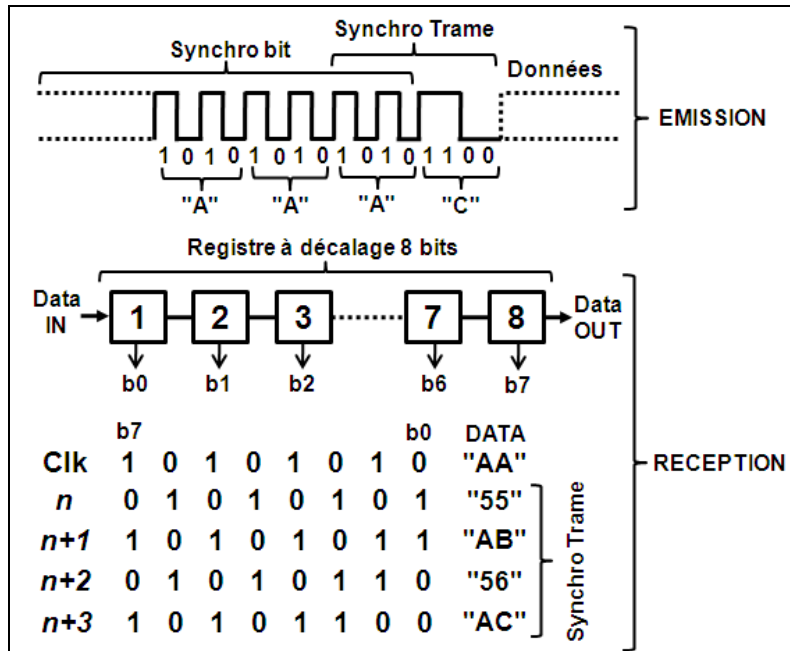


Figure 4 : Simple exemple de détection de synchro frame

Processus à la réception :

On se met en lecture du registre à décalage et on recherche une séquence d'au moins quatre mots "AA55h" ce qui nous indique que l'on a récupéré la synchro bit. Ensuite on recherche le mot "55AB56ACh" qui est le mot de synchro ⁽⁵⁾. Alors les données série suivantes à l'entrée du registre à décalage constituent les données utiles de la trame.

Dans le prochain "Comment ça marche", nous aborderons les modes et les protocoles de communication.

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) Plus certaines fonctions liées au type de modulation et au type de récepteur, comme la CAG (Commande Automatique du Gain), l'AFC (Automatic Frequency Control), etc.
- 2) Le seuil du comparateur est obtenu en faisant la moyenne.
- 3) Dans ce cas précis, le brouillage tombe dans les fréquences où l'oreille est la plus sensible, ce qui rend l'écoute très pénible.
- 4) En OFDM, la séparation entre voies est de 20 dB. Si pour un taux d'erreurs de 10^{-3} on a besoin de 17 dB, on n'a que 3 dB de marge. Donc la différence de puissance entre les voies ne devra pas dépasser cette marge, d'où un besoin d'égalisation (application d'un facteur correctif sur chacune des voies, à renouveler pour chaque trame). Par

ailleurs, chaque voie occupant une bande beaucoup plus petite que la largeur du canal de transmission, il n'y a pas besoin d'égalisation liée à ce dernier.

- 5) Voir à se contenter du mot de 16 bits "56ACh". Des tests à la limite du rapport S/B devraient déterminer le meilleur choix en fonction de la modulation.*