

Comment ça marche ?

Les modes numériques radioamateurs

5 – Modes PSK...

Par le radio-club F6KRRK

Après avoir vu les modes numériques où l'on recherchait une grande vitesse pour la transmission de fichiers, rôle maintenant dévolu au réseau Internet, nous allons revenir aux faibles débits à la suite du RTTY avec pour but l'augmentation de la portée grâce à la réduction du débit.

Quand nous avons à transmettre en temps réel du texte tapé au clavier, point n'est besoin d'avoir une grande vitesse de modulation qui pénalise la sensibilité (augmentation de la bande passante et diminution du rapport S/B). Avec des modulations plus sophistiquées que le RTTY, modulations que l'on peut générer et décoder facilement en bande de base grâce au traitement numérique du signal, on peut réduire notablement la bande passante nécessaire et à puissance égale, améliorer la portée. Nous commencerons par traiter les modes PSKnnn. Ils utilisent tous la modulation de phase ("Phase Shift Keying") ⁽¹⁾.

Mode BPSK31 ou "PSK31"

Le BPSK31 utilise une modulation 2PSK. Le codage des bits se fait par l'inversion de phase (180°) d'une porteuse qui est ici en bande de base, avec une fréquence située au milieu de la bande Audio pour minimiser les distorsions de phase du filtre de canal. La vitesse de modulation est de 31,5 Bauds, soit 31,5 bit/s pour du 2PSK. L'occupation spectrale est réduite par filtrage numérique à 50 Hz environ ⁽²⁾. Normalement le PSK est à amplitude constante, mais la réduction du spectre par filtrage entraîne une modulation d'amplitude qui oblige à avoir un émetteur linéaire, soit en amplitude pour un émetteur BLU, soit en modulation pour un émetteur FM.

Le PSK31 utilise pour les données un codage orienté caractère. C'est un varicode (code de longueur variable) basé sur le codage de Huffman qui est un algorithme de compression de données sans perte. Cela permet d'augmenter le débit moyen des caractères ⁽³⁾.

La synchronisation se fait caractère par caractère. Pour cela ils sont précédés d'une paire de "0" qui ne se retrouve jamais dans les données qui par ailleurs commencent et se terminent toujours par un "1". L'alphabet utilise l'ASCII étendu avec le codage du tableau 1.

NUL	10101010111	!	11111111	A	1111101	a	1011
SCH	1011011011	"	10101111	B	11101011	b	1011111
STX	1011101101	#	111110101	C	10101101	c	101111
ETX	1101110111	\$	111011011	D	10110101	d	101101
ECT	1011101011	%	1011010101	E	1110111	e	11
ENQ	1101011111	&	1010111011	F	11011011	f	111101
ACK	1011101111	'	10111111	G	11111101	g	1011011
BEL	1011111101	(	11111011	H	101010101	h	101011
BS	1011111111	)	11110111	I	1111111	i	1101
HT	11101111	*	10110111	J	11111101	j	111101011
LF	11101	+	11101111	K	10111101	k	10111111
VT	110110111	,	1110101	L	11010111	l	11011
FF	1011011101	-	110101	M	10111011	m	111011
CR	11111	.	1010111	N	11011101	n	1111
SO	1101110101	/	110101111	O	10101011	o	111
SI	1110101011	0	10110111	P	11010101	p	111111
DLE	1011110111	1	10111101	Q	111011101	q	110111111
DC1	1011110101	2	11101101	R	10101111	r	10101
DC2	1110101101	3	11111111	S	1101111	s	10111
DC3	1110101111	4	101110111	T	1101101	t	101
DC4	1101011011	5	101011011	U	101010111	u	110111
NAK	1101101011	6	101101011	V	110110101	v	1111011
SYN	1101101101	7	110101101	W	101011101	w	1101011
ETB	1101010111	8	110101011	X	101110101	x	11011111
CAN	1101111011	9	110110111	Y	101111011	y	1011101
EM	1101111101	:	11110101	Z	1010101101	z	111010101
SUB	1110110111	;	110111101	[	111110111	{	1010110111
ESC	1101010101	<	111101101	\	111101111	|	110111011
FS	1101011101	=	1010101	]	111111011	}	1010110101
GS	1110111011	>	111010111	^	101011111	~	1011010111
RS	1011111011	?	101010111	_	101101101	DEL	1110110101
US	1101111111	@	1010111101	`	1011011111	SP	1

Tableau 1 : Codage utilisé par le mode BPSK31 (code ASCII étendu)

Le BPSK31 n'utilise pas de code correcteur d'erreurs. Une seule erreur suffit pour rendre un caractère faux et c'est au lecteur de faire mentalement la rectification. Comme pour la CW et le RTTY, on duplique en émission les données importantes (indicatif, report, prénom de l'opérateur).

Mode QPSK31

Le QPSK31 utilise des sauts de phase de 90° au lieu de 180° pur le BPSK, ceci nous permet de transmettre 2 bits par Baud, soit un débit de 62 bits/s pour toujours 31 Bauds et le même encombrement spectral. Ce doublement du débit va nous permettre d'améliorer "l'habillage" des données pour diminuer les erreurs de transmission.

Nous avons d'abord un codage de GRAY qui permet de n'avoir qu'une seule erreur au lieu de deux dans le cas d'un code Binaire.

On applique ensuite un code convolutif ayant un rendement de 0,5, d'où un débit net (bits/s) divisé par deux. A la réception le décodage se fait à l'aide d'un algorithme de Viterbi.

Côté sensibilité, par rapport au BPSK31 il n'y a pas d'amélioration notable si nous analysons les courbes de TEB de la figure 1 pour le QPSK31 et le BPSK31.

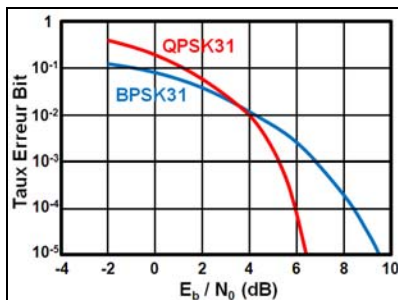


Figure 1 : TEB comparés BPSK31 et QPSK31

Nous constatons que pour les TEB élevés ($>10^{-2}$) le BPSK est meilleur et que pour les faibles TEB ($<10^{-2}$) le QPSK31 est meilleur. Mais attention, ceci pour un bruit gaussien. En cas d'interférences ou de QSB rapide le code correcteur d'erreur du QPSK31 améliore la qualité. Bien que toute erreur solitaire de 1 bit soit corrigée par le code en QPSK31, en pratique le BPSK31 offre un meilleur résultat pour les faibles signaux.

Il existe plusieurs versions dérivées du PSK31 :

- **BPSK63** : Par rapport au BPSK31, le débit est doublé, mais avec une largeur spectrale doublée également et un rapport S/B diminué de 3 dB pour le même TEB.
- **QPSK 63** : Idem ci-dessus, par rapport au QPSK31
- **BPSK 125** : Par rapport au BPSK31, le débit est quadruplé, mais avec une largeur spectrale quadruplée également et un rapport S/B diminué de 6 dB pour le même TEB.
- **QPSK 125** : Idem ci-dessus, par rapport au QPSK31

Qualités requises pour l'E/R BLU.

En émission ce sont les bruits de phase des OL, en particulier les OL variables qui sont prépondérants. Ils ne doivent avoir aucune raie parasite proche, ni un bruit plancher élevé pour ne pas perturber les canaux adjacents. Ne pas mettre en service les ALC HF et BF, ni un compresseur de modulation. A l'aide du réglage manuel, ajuster le niveau d'excitation de manière à se placer à la moitié de la puissance PeP, car nous avons une puissance CW.

Mais les problèmes se rencontrent surtout en réception. Ils sont dus au fait que la largeur du canal est bien plus faible que la bande passante du récepteur. Si l'on utilisait un filtre à quartz pour faire le filtrage de canal, cela ne serait pas l'idéal car les distorsions de phase de ce type de filtre sont importantes. Nous ne rencontrons pas ce problème en filtrant le canal numériquement en bande de base à l'aide d'un filtre FIR qui est linéaire en phase. Mais nous allons rencontrer un autre problème lié à la CAG du récepteur et nous devons choisir "entre la peste et le choléra".

Si nous conservons la CAG, elle risque de se déclencher sur un brouilleur proche qui passe dans le filtre de réception, désensibilisant du même coup le récepteur pour notre propre canal.

La supprimer amène deux ennuis :

- Il faut ajuster "à la main" le gain HF du récepteur en jonglant avec le QSB.
- La dynamique instantanée (linéarité) en FI du récepteur doit être importante pour ne pas avoir d'interférence avec les brouilleurs d'une part, et pour tolérer un réglage manuel "approximatif" du gain.

En pratique, c'est la présence ou non de brouilleurs qui déterminera le choix du mode, manuel ou automatique.

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) Pour les détails techniques sur le nPSK, se référer au "Comment ça marche" sur les transmissions numériques chapitre 3 (09/2018).
- (2) En utilisant des filtres numériques FIR, leur retard est constant dans toute la bande n'occasionnant pas de distorsion de phase.
- (3) Avec le PSK31, le débit moyen (caractères) est sensiblement égal à celui du RTTY à 50 Bauds pour un code ASCII 8 bits. Soit une augmentation du débit de 1,6 fois (50 pour 31).