Modulations multiporteuses.

Motivation : les canaux à trajets multiples.

Forme de $\frac{1}{\sqrt{2}} \times$ enveloppe complexe du signal reçu en présence de trajets multiples.

$$y(t) = \sqrt{\frac{E_s}{T}} \sum_l \lambda_l x(t - \tau_l) + b(t) = \sum_n a_n h(t - nT) + b(t) \qquad (1)$$

avec $h(t) = \sum_l \lambda_l g(t - \tau_l)$.

Motivation

Sortie du filtre adapté : $y_n = \sum_{l=0}^{L} h_l a_{n-l} + b_n$

Si tous les τ_l sont petits devant T, $y_n = h_0 a_n + b_n$

Sinon, $L \simeq \max_l \frac{|\tau_l|}{T}$.

Plus T est petit $\Longleftrightarrow$ plus le débit est grand, plus L est grand.

Exemple des communications mobiles : τ peut atteindre 15 μsec.

- GSM, $T \simeq 3\mu$sec, $L \leq 5$
- UMTS, débit symbole max de 4 Mégasymboles par seconde, $T = 0.25\mu$sec : L peut atteindre 60.

Idée générale des modulations multi-porteuses.

Transmettre une suite $(a_n)_{n\in\mathbb{Z}}$ à la période symbole T

Former la suite $a_{1,n} = a_{nN}$, $a_{2,n} = a_{nN+1}, \ldots, a_{N,n} = a_{nN+N-1}$

Transmettre en même temps à la période symbole NT les N suites $a_{1,n}, a_{2,n}, \ldots, a_{N,n}$

Comment faire en sorte que les N signaux ne se gênent pas entre eux ?

Idée la plus simple : leur attribuer des bandes passantes disjointes comme si ils correspondaient à des émetteurs différents.

Pas économique en bande passante, ne tire pas parti des possibilités de synchroniser ces différents signaux

Meilleure idée : le concept de transmultiplexeur.

Signal modulant : $x(t) = \sum_{k=1}^{N} \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - nNT) \right]$ avec $g_k \neq g_l$ complexes.

Signal modulé : $x_r(t) = \mathrm{Re}(x(t) e^{2i\pi f_0 t})$.

Enveloppe complexe du signal reçu en présence de trajets multiples

Si le signal k était transmis seul :

$$y_k(t) = \sum_l \lambda_l \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - \tau_l - nNT) + b(t)$$

Si $\tau_l << NT$ pour tout l, $y_{k,r}(t) \simeq \alpha \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - nNT)$

Cas général.

$$y(t) = \sum_{k=1}^{N} \alpha_k \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - nNT) \right] + b(t)$$

Choix des filtres de mise en forme $(g_k)_{k=1,N}$.

Condition de Nyquist généraliséé : $\int g_l(t-nNT)g_k(t-mNT)^* = 0$ si $k \neq l$ ou $m = n$.

Sortie du filtre adapté à l'impulsion g_k échantillonné aux multiples de NT.

$y_{k,n} = \int y(t)g_k(t-nNT)^* dt = \alpha_k a_{k,n} + b_{k,n}$

Suppression de l'interférence des autres signaux, et de l'interférence entre symboles.

Exemple des modulations multi-porteuses.

$g_k(t) = g(t) e^{2i\pi \frac{(k-1)t}{NT}}$

Forme du signal modulé.

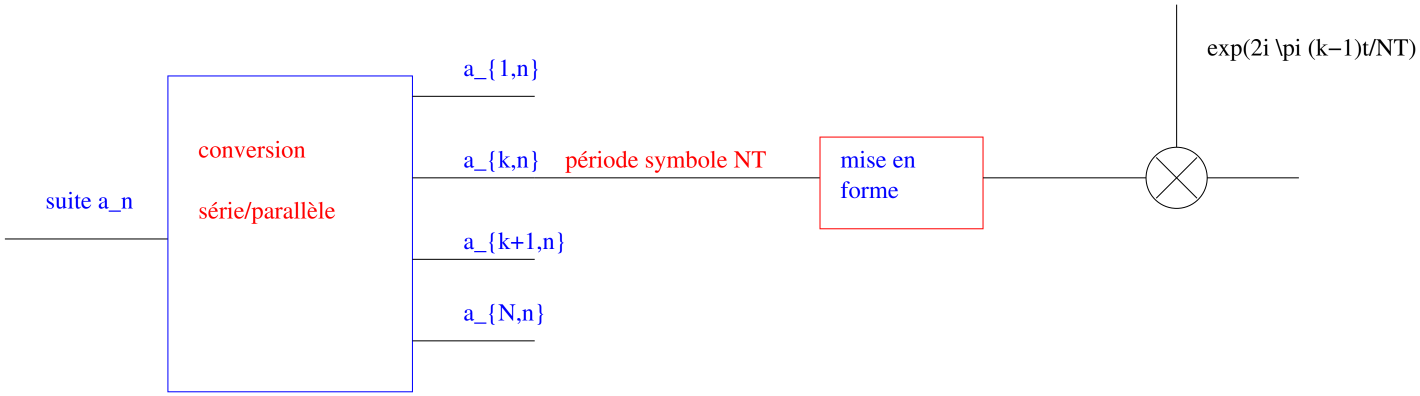
$x(t) = \sum_{k=1}^{N} \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g(t - nNT) \right] e^{2i\pi \frac{(k-1)t}{NT}}$

Densité spectrale et bande passante de $x(t)$:

$\sum_{k=1}^{N} |G(f - \frac{(k-1)}{NT})|^2$

Bande passante de $x(t)$ de l'ordre de $N \times \frac{1}{NT} = \frac{1}{T}$ si $g(t)$ a un excès de bande proche de 0.

Synoptique.



a_{1,n}
exp(2i \pi (k−1)t/NT)
conversion
a_{k,n}
période symbole NT
mise en
forme
suite a_n
série/parallèle
a_{k+1,n}
a_{N,n}

Conditions de Nyquist.

Existe-t-il des $g(t)$ pour lesquelles $g_k(t) = g(t) e^{2i\pi \frac{(k-1)t}{NT}}$ vérifient les conditions de Nyquist généralisées ?

$g(t) = \frac{1}{\sqrt{NT}}$ sur $[0, NT]$, 0 ailleurs.

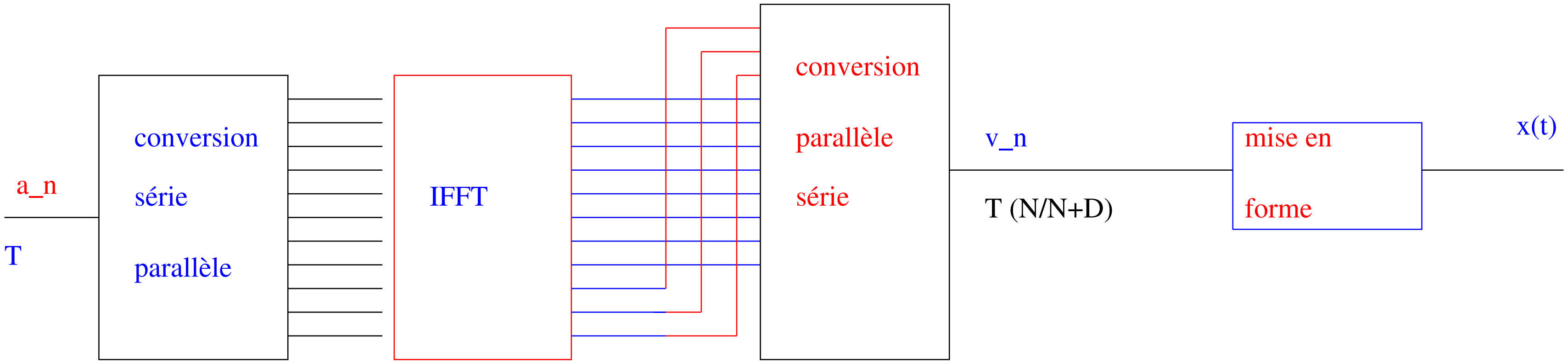
Dans ce cas, $x(t)$ est à bande infinie, pas intéressant.

En pratique, on prend des $g(t)$ en racine de cosinus avec de faibles excès de bande.

Condition de Nyquist généralisée pas respectée dans ce cas.

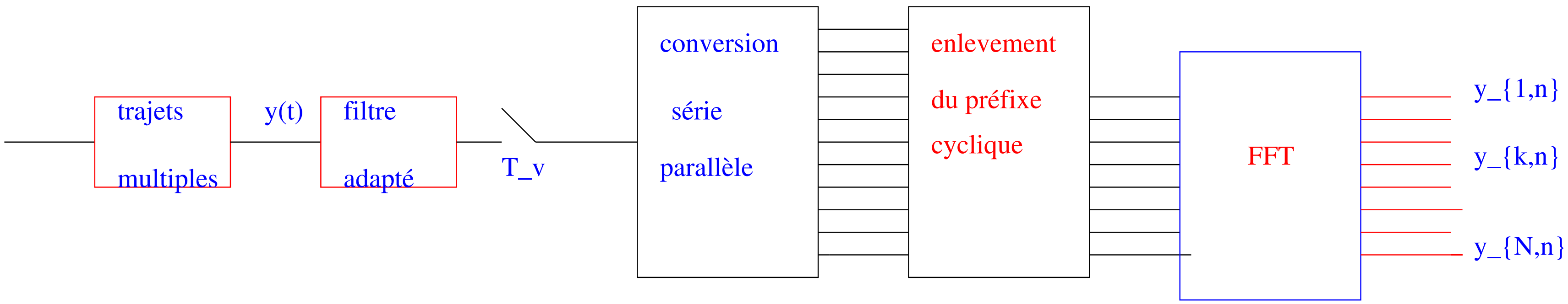
Utilisation d'un préfixe cyclique.

Une autre vision de l'émetteur.



Utilisation d'un préfixe cyclique.

Le récepteur.



Utilisation d'un préfixe cyclique.

Les équations.

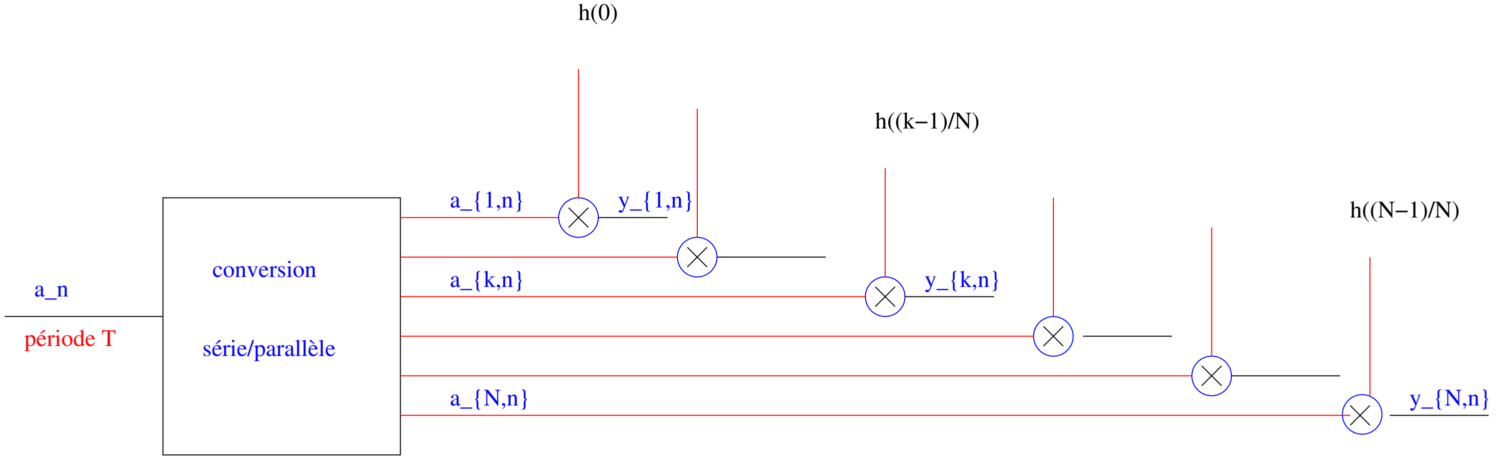
En sortie du filtre adapté, après échantillonnage :

$z_n = \sum_{l=0}^{L} h_l v_{n-l}$, et on pose $h(f) = \sum_{l=0}^{L} h_l e^{-2i\pi l f}$.

On montre que si le nombre d'échantillons de l'intervalle de garde est supérieur à L, alors:

$y_{k,n} = h(k/N) a_{k,n}$ pour $k = 1, \ldots, N$.

Schéma équivalent



Les systèmes actuels fonctionnant avec une modulation multi-porteuses.

- Le système ADSL, $N \leq 1024$
- Le système Hiperlan 2, $N \leq 256$
- Les systèmes DAB et DVB, $N \leq 8192$