

Rappel:

- Canal sans fils: utilisation de la diversité des canaux multi-trajets
- Diversité en temps: codage+entrelacement des blocs
- Diversité en espace: terminaux multi-antennes et codes espace-temps

Traitement des canaux sélectifs en fréquences?

Les approches précédentes utilisent le changement du canal avec le temps (paramètre important – le temps de cohérence T_C). Les canaux sont supposés d'être plats en fréquences.

Traitement des canaux sélectifs en fréquences?

Les approches précédentes utilisent le changement du canal avec le temps (paramètre important – le temps de cohérence T_C). Les canaux sont supposés d'être plats en fréquences.

Comment faire si le canal est sélectif en fréquence ($B \gg B_C$)?

Canaux à bande passante large : $B \gg B_C$

(la réponse fréquentielle dépend de f , canal sélectif en fréquence)

La sortie du canal

$$y[m] = \sum_l h_l[m]x[m-l] + w[m].$$

Canaux à bande passante large : $B \gg B_C$

(la réponse fréquentielle dépend de f , canal sélectif en fréquence)

La sortie du canal

$$y[m] = \sum_l h_l[m]x[m-l] + w[m].$$

Si $B \gg B_C$, alors le délai introduit $\tau > T_s$

$$y[1] = h_0x[1] + w[1]$$

$$y[2] = h_0x[2] + h_1x[1] + w[2]$$

$$y[3] = h_0x[3] + h_1x[2] + h_2x[1] + w[3]$$

$$y[m] = h_0x[m] + \dots + h_{L-1}x[m-L+1] + w[m]$$

Comment gérer l'IES?

Comment gérer l'IES?

- on attend pour recevoir toutes les répliques du symboles (débit faible, équivalent au code à répétition)
- ou on trouve un moyen de gérer l'*interférence entre symboles (IES)*, quand les versions retardées des symboles précédents interfèrent avec le symbole présent.

3 approches pour transmettre l'information

- 1 **Utilisation d'un égaliseur** (un module de traitement du signal à la réception) pour diminuer l'IES: système à uni-porteuse avec l'égalisation

3 approches pour transmettre l'information

- ① **Utilisation d'un égaliseur** (un module de traitement du signal à la réception) pour diminuer l'IES: système à uni-porteuse avec l'égalisation
- ② **Précodage à l'émetteur** pour transformer le canal dans l'ensemble des canaux à bande étroite, qui n'interfèrent pas: système à multi-porteuses
Diversité obtenue par le codage des symboles pour les sous-porteuses. La méthode s'appelle **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

3 approches pour transmettre l'information

① **Utilisation d'un égaliseur** (un module de traitement du signal à la réception) pour diminuer l'IES: système à uni-porteuse avec l'égalisation

② **Précodage à l'émetteur** pour transformer le canal dans l'ensemble des canaux à bande étroite, qui n'interfèrent pas: système à multi-porteuses

Diversité obtenue par le codage des symboles pour les sous-porteuses. La méthode s'appelle **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

③ **Etalement du spectre du signal**: système à étalement du spectre

les symboles sont modulés par une séquence de pseudo-bruit et transmis dans la bande $B \gg 1/T_s$. Utilisation inefficace des ressources au niveau d'un utilisateur, mais efficace au niveau système.

Exemples de 3 approches

- 1 système à uni-porteuse – GSM
- 2 système à multi-porteuses – IEEE 802.11a
- 3 système à étalement du spectre – IS-95 CDMA, IEEE 802.11b

Exemples de 3 approches

- 1 système à uni-porteuse – GSM
- 2 système à multi-porteuses – IEEE 802.11a
- 3 système à étalement du spectre – IS-95 CDMA, IEEE 802.11b

Les systèmes à multi-porteuses et à étalement du spectre sont utilisés pour $IES \rightarrow 0$.

Idée principale

Diviser le flux de données en sous-flux et transmettre chacun d'eux par un sous-canal avec $B_{sc} \ll B_C$. Sous les conditions de propagation parfaites les sous-canaux sont orthogonaux (pas de IES) et à évanouissement plat.

Idée principale

Diviser le flux de données en sous-flux et transmettre chacun d'eux par un sous-canal avec $B_{sc} \ll B_C$. Sous les conditions de propagation parfaites les sous-canaux sont orthogonaux (pas de l'IES) et à évanouissement plat.

Systèmes à multi-porteuses avec les sous-canaux distincts

Débit	R	Débit par sous-canal	$R_N \approx R/N$
Bande passante	B ($B > B_C$)	Bande par sous-canal	$B_N = B/N$
Sous-canaux	N		$(B_N < B_C)$

Le temps-symbole par sous-canal

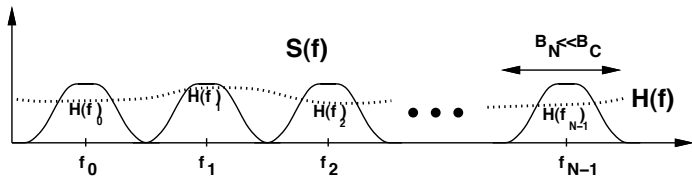
$$T_N = 1/B_N \gg 1/B_C = T_s$$

T_s - étalement de délai du canal. Alors une très petite IES.

Systèmes à multi-porteuses avec les sous-canaux distincts

Pour les sous-canaux distincts,

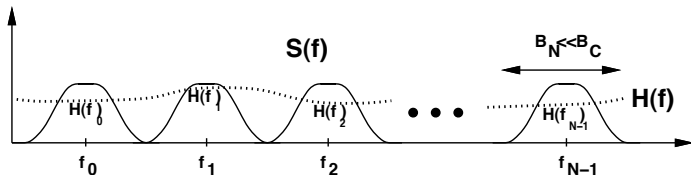
$$T_N = (1 + \alpha)/B_N, \quad 0 < \alpha \leq 1$$



Systèmes à multi-porteuses avec les sous-canaux distincts

Pour les sous-canaux distincts,

$$T_N = (1 + \alpha)/B_N, \quad 0 < \alpha \leq 1$$



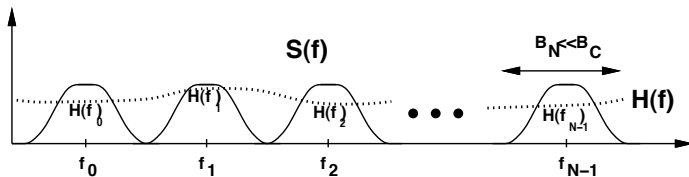
2 problèmes majeurs avec le schéma présenté:

- Efficacité spectrale trop petite
- N modulateurs et démodulateurs indépendants

Systèmes à multi-porteuses

Pour les sous-canaux distincts,

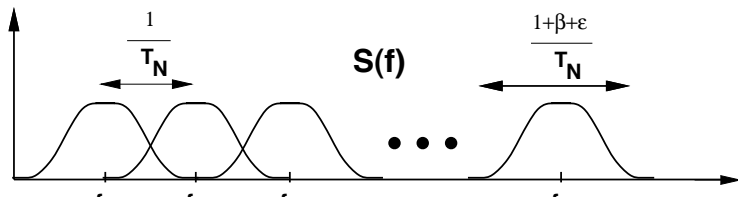
$$T_N = (1 + \alpha)/B_N, \quad 0 < \alpha \leq 1$$



Systèmes à multi-porteuses avec les sous-canaux superposés

Les sous-porteuses

$$f_i = f_0 + i/T_N$$



Avantage:

- meilleure efficacité spectrale, donc le débit plus grand

Inconvénient:

- l'orthogonalité peut être plus facilement corrompue par la désynchronisation.

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

- ? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)
Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.
- ? ↓ IES au récepteur après la transmission

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.

? ↓ IES au récepteur après la transmission

Non. En faisant une telle égalisation on augmente le niveau du bruit du canal.

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.

? ↓ IES au récepteur après la transmission

Non. En faisant une telle égalisation on augmente le niveau du bruit du canal.

? ↓ IES à l'émetteur (precodage)

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.

? ↓ IES au récepteur après la transmission

Non. En faisant une telle égalisation on augmente le niveau du bruit du canal.

? ↓ IES à l'émetteur (precodage)

Oui quand CSIT.

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)

Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.

? ↓ IES au récepteur après la transmission

Non. En faisant une telle egalisation on augmente le niveau du bruit du canal.

? ↓ IES à l'émetteur (precodage)

Oui quand CSIT.

Pas efficace en puissance émise. Pas efficace pour les canaux qui varient rapidement.

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

- ? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)
Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.
- ? ↓ IES au récepteur après la transmission
Non. En faisant une telle égalisation on augmente le niveau du bruit du canal.
- ? ↓ IES à l'émetteur (precodage)
Oui quand CSIT.
Pas efficace en puissance émise. Pas efficace pour les canaux qui varient rapidement.
- ? Charge adaptative des sous-canaux

Système à multi-porteuses: transmission par le canal à évanouissement

Nous avons N sous-canaux à évanouissement plat. Comment organiser la transmission?

- ? Codage+entrelacement (en temps et en fréquence)
Oui, si la diversité en fréquence est suffisamment grande et CSIR.
- ? ↓ IES au récepteur après la transmission
Non. En faisant une telle égalisation on augmente le niveau du bruit du canal.
- ? ↓ IES à l'émetteur (precodage)
Oui quand CSIT.
Pas efficace en puissance émise. Pas efficace pour les canaux qui varient rapidement.
- ? Charge adaptative des sous-canaux
Oui, quand CSIT. On effectue l'allocation des puissances.

Comment diminuer le nombre des modulateurs/démodulateurs?

Comment diminuer le nombre des modulateurs/démodulateurs?
Systèmes OFDM (Offset Frequency Division Multiplexing)

Comment diminuer le nombre des modulateurs/démodulateurs?

Systèmes OFDM (Offset Frequency Division Multiplexing)

Idée principale

Le système OFDM décompose le canal en N canaux orthogonaux avec un symbole QAM par sous-canal. La connaissance du canal n'est pas nécessaire pour faire la décomposition.

Comment diminuer le nombre des modulateurs/démodulateurs?

Systèmes OFDM (Offset Frequency Division Multiplexing)

Idée principale

Le système OFDM décompose le canal en N canaux orthogonaux avec un symbole QAM par sous-canal. La connaissance du canal n'est pas nécessaire pour faire la décomposition.

La décomposition, c'est la **transformée de Fourier**:

Bloc de N symboles QAM \rightarrow IFFT \rightarrow Préfixe cyclique \rightarrow Emission
Réception \rightarrow Supprimer le préfixe \rightarrow FFT \rightarrow Bloc de N symboles

Systèmes OFDM: Préfixe cyclique

L'ajout du préfixe cyclique de longueur μ est équivalent à l'ajout de l'intervalle de garde de longueur μ temps-symboles.



Avantages:

- **Bonnes performances** sur les canaux sélectifs en fréquence
- **Facile** à mettre en pratique
- **Compatible** avec les techniques précédentes (MIMO-OFDM,...)

Inconvénients:

- **Grande variation des puissances**, alors la régime non-linéaire des amplificateurs
- **Offset de f** : si Δf n'est pas exactement $1/T_N$, alors l'interférence entre sous-porteuses.
- **Offset de t** : le préfixe cyclique doit durer plus que l'étalement du délai, sinon l'interférence entre les paquets est non-nulle.