Notions sur le CDMA.

Motivation : une autre technique d'accès multiple I.

Techniques d'accès multiple classiques.

- le FDMA : un utilisateur = une bande de fréquence distincte de celles des autres.
- le TDMA : un utilisateur = un intervalle de temps différent de ceux alloués aux autres.

En pratique, mélange de FDMA et de TDMA.

Motivation : une autre technique d'accès multiple II.

Défauts du FDMA/TDMA : difficile de gérer les ressources de façon optimale.

- FDMA : pas bien adapté aux communications sporadiques comme la parole, ou les paquets courts.
- TDMA : nécessite une parfaite synchronisation entre utilisateurs, ce qui n'est pas si simple à gérer.

Motivation : une autre technique d'accès multiple III.

Principe général du CDMA : permettre aux utilisateurs d'émettre dans la même bande au même instant $\Longrightarrow$ plus de problème pour gérer l'allocation des ressources.

Question de fond : comment séparer les différents signaux correspondants aux différents utilisateurs ?

Utiliser des transmultiplexeurs d'un type un peu particulier.

Le principe du CDMA : I

K suites de symboles $(a_{1,n})_{n \in \mathbb{Z}}, \ldots, (a_{K,n})_{n \in \mathbb{Z}}$ doivent être transmises à une période symbole de T.

Rappels sur les transmultiplexeurs.

Signal modulant : $x(t) = \sum_{k=1}^{K} \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - nT) \right]$ avec :

Condition de Nyquist généralisée : $\int g_k(t - nT) g_l(t - n'T)^* = 0$ si $k \neq l$ ou $n \neq n'$.

Le principe du CDMA : II

Forme des $g_k(t)$ dans le cas du CDMA.

$g_k(t) = \sum_{m=0}^{N} c_{k,m} g(t - mT_c)$ avec

- $T_c = \frac{T}{N}$ appelée période chip, et N le facteur d'étalement.
- $g(t)$ vérifie la condition de Nyquist à la cadence T_c.
- $c_{k,l}$ vaut ± 1 (ou $\frac{1}{\sqrt{2}}(\pm 1 + \pm i)$), $(c_{k,l})_{l=0}^{N-1}$ est appelé code de l'utilisateur numéro k
- Pour $k \neq l$, $\sum_{m=0}^{N-1} c_{k,m} c_{l,m}^* = 0$.

Conséquence importante : $\frac{1}{T} \int g_k(t - nT) g_l(t - n'T)^* = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} c_{k,m} c_{l,m}^* = 0$ **si** $k \neq l$ **ou** $n \neq n'$**.**

Le principe du CDMA : III.

La condition d'orthogonalité des codes implique que $K \leq N$.

Efficacité spectrale : évaluation de la bande passante du signal $x(t)$.

$S_x(f) = \frac{1}{T}(\sum_{k=1}^{K} |G_k(f)|^2)$

Bande passante de chaque $G_k(f) \geq \frac{1}{T_c} = \frac{N}{T}$.

Bilan : pour faire transiter K suites de symboles à $\frac{1}{T}$, il faut au moins une bande de $\frac{N}{T}$ avec $K \leq N$.

Le CDMA ne produit pas de miracle, et est peu efficace spectralement si $\frac{K}{N}$ est petit.

La réception, le cas synchrone (liaison descendante) : I

Cas d'un canal monotrajet.

Enveloppe complexe $y(t)$ du signal reçu par un récepteur:

$y(t) = \sqrt{\frac{E_s}{T}} \sum_{k=1}^{K} \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - nT) \right] + b(t)$ avec $b(t)$ bruit blanc gaussien de densité spectrale N_o.

Filtre adapté à l'utilisateur k_0 échantillonné à l'instant nT :

$y_n = \frac{1}{\sqrt{T}} \int_{-\infty}^{\infty} y(t) g_{k_0}(t - nT)^* dt = \sqrt{E_s} a_{k_0,n} + b_n$

La réception, le cas asynchrone (liaison montante) : II

Cas de canaux monotrajets.

Enveloppe complexe $y(t)$ du signal reçu par un récepteur:

$$y(t) = \sqrt{\frac{E_s}{T}} \sum_{k=1}^{K} \alpha_k \left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} a_{k,n} g_k(t - \tau_k - nT) \right] + b(t)$$

Le filtre adapté n'élimine pas l'interférence multi-utilisateurs.

La réception, le cas asynchrone (liaison montante) : III

Exemple simple : 2 utilisateurs, l'un transportant des symboles tous égaux à 1, et l'autre des symboles tous égaux à -1.

$$y(t) = \sqrt{\frac{E_s}{T}} \left[\alpha_1 \sum_{n\in\mathbb{Z}} g_1(t-nT) + \alpha_2 \sum_{n\in\mathbb{Z}} g_2(t-lT_c-nT)\right]$$

Sortie du filtre adapté à l'utilisateut 1 à l'instant n :

$$y_n = \sqrt{E_s}\left(1 - \frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1} c_{1,m}c^*_{2,m-l}\right)$$

Si les 2 utilisateurs transmettent des symboles quelconques.

$y_n = \sqrt{E_s}\left(1 - \frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1} a_{1,n}c_{1,m}\epsilon_{2,m}c^*_{2,m-l}\right)$ avec $\epsilon_{2,m} = a_{2,n}$ si $l \leq m \leq N-1$ et $\epsilon_{2,m} = a_{2,n-1}$ si $0 \leq m \leq l-1$.

Conséquence : la condition $\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1} c_{k,m}c^*_{l,m} = 0$ si $k \neq l$ ne suffit pas dans le cas liaison montante. Idem pour le cas des liaisons descendantes avec multi-trajets.

Choix des codes.

Faire en sorte que $\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1} c_{k,m} c^*_{l,m-m_0}$ soit de l'ordre de $\frac{1}{\sqrt{N}}$ si $k \neq l$ ou $m \neq m_0$.

Une possibilité : tirer les codes aléatoirement.

Sortie du filtre adapté à l'instant n, communications montantes monotrajet :

$y_n = \sqrt{E_s} a_{k,n} +$ somme de $K-1$ termes en $\frac{1}{\sqrt{N}} + b_n$

Pour obtenir des performances raisonnables, il faut que $K << N$. Pire encore en cas de trajets multiples.

Quelques conclusions.

Avec un récepteur par filtrage adapté, grosse perte d'efficacité spectrale.

Compensée par l'absence de gestion des ressources ? Certains disent oui, certains non.

Utiliser d'autres types de récepteurs $\Longrightarrow$ augmentation très sérieuse de la complexité.

Malgré tout, le CDMA est à la mode : retenu pour l'UMTS.