



MODULATION OFDM

Présenté par :

AHOUANDJINOU Bill & ALONOU MI Cédric Bosco

4^e année d'Ingénierie

Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi – Université d'Abomey-Calavi

EPAC – UAC

Année académique : 2021 – 2022

Introduction

Stratégies de transmission

Principes généraux

Aspects pratiques

- Avantages

- Inconvénients et approches de solution

- Variantes de l'OFDM

- Applications de l'OFDM

Conclusion

Bibliographie

Introduction

Au fur et à mesure que nous évoluons, les besoins en améliorations technologiques augmentent. Nous avons besoin de débits plus élevés, d'une meilleure qualité de service, etc. Pour rendre cela réel, il est donc utile d'améliorer les différentes techniques utilisées pour la transmission de données. De ce fait, ce document résumera l'essentiel à connaître sur la technique de multiplexage OFDM.

Stratégies de transmission

Stratégies de transmission (1)

- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ou encore DMT (Discrete MultiTone modulation) repose sur le principe du multiplexage fréquentiel.
- OFDM divise par N (nombre de porteuses) la rapidité de modulation de chaque porteuse réduisant ainsi les effets de l'interférence de symboles et optimisant l'utilisation du spectre radio-fréquence.

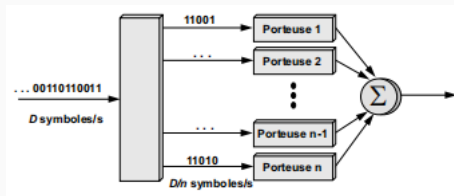


Figure 1: Principe de la modulation OFDM

Stratégies de transmission (2)

- OFDM divise par N (nombre de porteuses) la rapidité de modulation de chaque porteuse réduisant ainsi les effets de l'interférence de symboles et optimisant l'utilisation du spectre radio-fréquence.
- Principe de l'orthogonalité des porteuses : espacement entre chaque sous-porteuse égal à $\Delta f = \frac{k}{T}$, où T secondes est la durée utile d'un symbole et k est un entier positif, généralement égal à 1.
- Haute efficacité spectrale grâce à l'orthogonalité. On s'approche donc de D_{max} de Nyquist
- Avec N sous-porteuses, la largeur totale de la bande passante sera de $B = N \times \Delta f$.

Stratégies de transmission (3)

- Adaptation du débit aux conditions de propagation (distance, perturbations...) grâce aux porteuses multiples.
- Le débit peut être réduit de 54 Mbit/s à 48, 36, 24, 12 et enfin 6 Mbit/s (norme **IEEE 802.11a**)



Figure 2: Canaux disponibles et fréquences dans la bande des 5 GHz

Stratégies de transmission (4)

- Chaque sous-porteuse est modulée indépendamment en utilisant des modulations numériques : BPSK, QPSK, QAM-16, QAM-64
- Limitation des ISI grâce à l'OFDM.
- Suppression des ISI par ajout des intervalles de garde

Principes généraux

Principes généraux (1)

- Subdivision du canal en N sous canaux
- Principe de transmission par bloc
- Symbole transmis : $s(k) = s_l(k)$, $1 \leq l \leq N$
- Expression :
$$x_i = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{l=0}^{N-1} \sum_k p_{i-kN} \exp(j \frac{2\pi l i}{N})$$
- $p_i, i \geq 0$ sont des fonctions temporelles de mise en forme

Principes généraux (2)

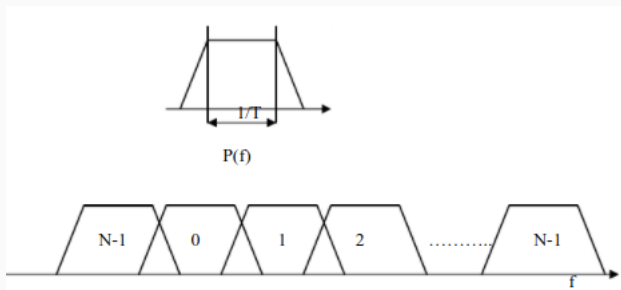


Figure 3: Spectre d'une modulation multi-porteuse à base de transformée de Fourier

Principes généraux (3)

- On pose $i = mN + n$, avec m le numéro du bloc OFDM tel que $m \in \mathbb{Z}$ et n le numéro de la porteuse $1 \leq n \leq N$

- On obtient :

$$x_{mN+n} = x_n(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_k p_{(m-k)N+n} \sum_{l=0}^{N-1} s_l(k) \exp(j \frac{2\pi l n}{N})$$

- Forme générale : $x_n(m) = \sum_k g_{m-k}(n) \tilde{s}_n(k)$

Principes généraux (4)

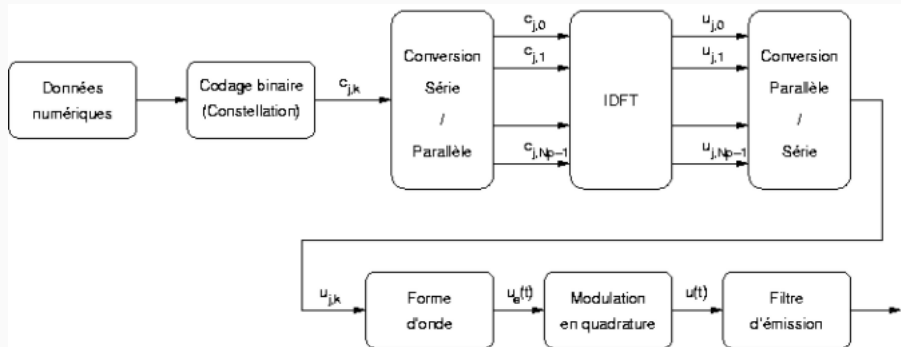


Figure 4: Synoptique d'un émetteur OFDM

Principes généraux (5)

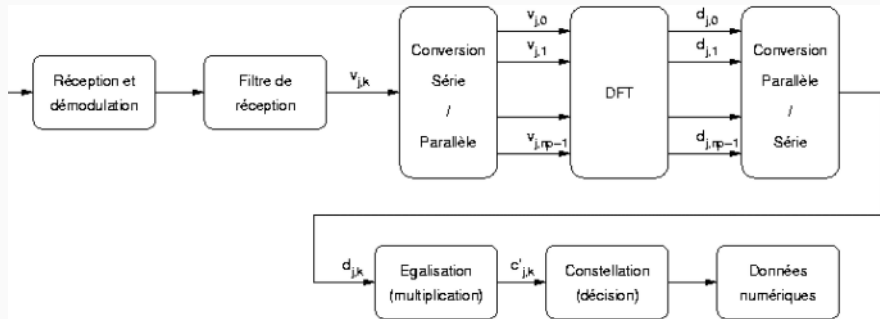


Figure 5: Synoptique d'un récepteur OFDM

Aspects pratiques

Avantages

- Une utilisation efficace des ressources fréquentielles
- Une égalisation numérique et un décodage simple et optimal grâce à l'utilisation de l'intervalle de garde
- Résistance au bruit impulsif
- Surmonter les évanouissements sélectifs en fréquence et les distorsions par trajets multiples trouvés dans les canaux à large bande
- Faciliter le partage des ressources sur plusieurs flux de données

Inconvénients et solutions proposées (1)

- Lorsque le canal de propagation a une longueur L donnée, les L dernières composantes du bloc $x(k-1)$ transmis interfèrent avec les L premières composantes du bloc $x(k)$ en raison de la mémoire du canal.

Solution : Des techniques de pré et post-égalisation peuvent être mises en œuvre pour remédier à ce problème mais au prix d'une complexité accrue. Par ailleurs, afin de préserver une égalisation simplifiée, les systèmes OFDM actuelles emploient une astuce appelée **préfixe cyclique** proposée dans citation[16] et a pour but d'introduire de la redondance dans chaque bloc transmis.

Inconvénients et solutions proposées (2)

- L'OFDM est également très vulnérable aux problèmes de décalage en fréquence (*frequency offset*) et de synchronisation. Dans le premier cas, le décalage engendre de l'interférence entre porteuses qui peut détruire l'orthogonalité des porteuses. Dans le second cas, les erreurs de synchronisation induisent un déphasage sur les symboles reçus.

Solution : Pour certaines applications, une localisation spectrale plus fine peut être préférable mais aboutit dès lors à un système de filtre plus complexe à mettre en œuvre.

Variantes de l'OFDM (1)

- **COFDM (Coded OFDM)** : Dans ce type OFDM, un codage de correction d'erreur est ajouté dans le signal OFDM lui-même. Il utilise FEC (Forward Error Correction) pour transformer des bits donnés en un plus grand nombre de bits qui utilise la redondance pour résoudre le problème d'évanouissement sélectif en fréquence observé dans OFDM. Il est utilisé en DVB-T.
- **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)** : C'est la forme abrégée de l'accès multiple par répartition orthogonale de la fréquence. Dans OFDM, toute la bande passante des sous-porteuses OFDM est utilisée par un seul utilisateur. Dans OFDMA, toute la bande passante est partagée par plusieurs utilisateurs en fonction des allocations de sous-canaux qui leur sont attribuées. Un sous-canal se compose de plusieurs sous-porteuses. Ces sous-porteuses sont contiguës ou réparties selon une permutation.

Variantes de l'OFDM (2)

- **VOFDM (Vector OFDM)** : Ce type OFDM utilise MIMO pour tirer parti de ses avantages. Il est développé par Cisco Systems. MIMO aide à atteindre un débit de données plus élevé pendant la transmission. De plus, plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur utilisent des effets de trajets multiples et contribuent à améliorer la réception du signal.
- **WOFDM (Wideband OFDM)** : Dans cette variante OFDM, l'espacement entre les canaux est maintenu plus grand. Par conséquent, le décalage de fréquence entre l'émetteur et le récepteur n'affecte pas les performances du système. Il est appliqué dans les systèmes WiFi.
- **Flash OFDM** : Cette variante OFDM utilise plusieurs porteuses ou tonalités et une technique de saut rapide pour étaler le signal sur la bande.

Variantes de l'OFDM (3)

- **f-OFDM (filtered OFDM)** : Dans ce type f-OFDM, le module de filtrage est appliqué après le module d'insertion IFFT/CP. Il aide à améliorer le rayonnement hors bande du signal de sous-bande. Des filtres tels que les filtres Sinc tronqués souples utilisant la fenêtre de Hann ou la fenêtre RRC et le filtre d'équi-ondulation utilisant l'algorithme d'échange Remez sont utilisés.

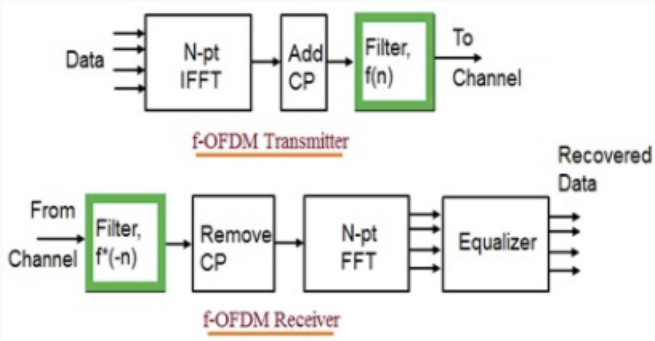


Figure 6: Synoptique émetteur et récepteur f-OFDM

Variantes de l'OFDM (4)

- **OFCDM (Orthogonal Frequency Code Division Multiplexing) :**
C'est une combinaison des techniques OFDM et CDMA. Dans cette variante OFDM, des modules d'étalement et de désétalement sont respectivement appliqués à l'émetteur et au récepteur OFDM. Il est également connu sous le nom d'hybride-OFDM.

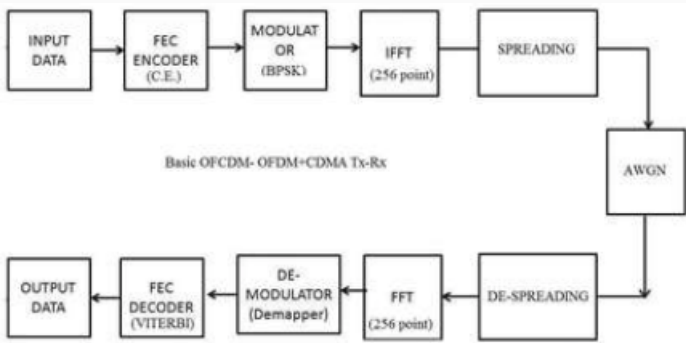


Figure 7: Synoptique émetteur et récepteur OFCDM

Applications de l'OFDM

- la télédiffusion numérique terrestre (DVB-T, DVB-H) ;
- la radiodiffusion numérique terrestre DAB ;
- la radiodiffusion numérique terrestre T-DMB ;
- la radiodiffusion numérique DRM ;
- les liaisons filaires telles que l'ADSL, le VDSL, les modems sur courant porteur (homeplug), les modems câble (standard Docsis) et certains réseaux électriques intelligents se basant sur du CPL (G3-PLC [archive], PRIME [archive]) ;
- les réseaux sans-fils basé sur les normes 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac et 802.11ax (Wi-Fi), 802.16 (WiMAX) et HiperLAN ;
- les réseaux mobiles de nouvelles générations (LTE, 4G, 5G) qui utilisent une technique d'accès multiple basée sur l'OFDM appelée OFDMA : Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.

- Chaîne de transmission OFDM avec quatre (04) sous-canaux : différentes étapes
- BER en fonction du SNR

Conclusion

Nous retenons que l'OFDM est une technique de multiplexage qui a permis de corriger plusieurs aspects des techniques qui la précèdent dans le but global d'améliorer la qualité de service. Elle présente donc de nombreux avantages mais aussi des inconvénients qui sont au fil du temps corrigés.

Bibliographie

- Claude SERVIN, Réseaux & Télécoms, 2e ed., DUNOD, volume 962 pages
- Hervé FRENOT, LEXIQUE DE TERMES ET ACRONYMES RESEAUX & TELECOMMUNICATIONS, Edition 04/2013, volume 376 pages
- Galyna PISKONOVA, TRANSMISSION OFDM POUR LA TÉLÉPHONIE CELLULAIRE, volume 226, École de Technologie Supérieure, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

Merci de votre attention !