

Cong Luong Nguyen¹, Anissa Mokraoui¹, Pierre Duhamel², Nguyen Linh-Trung³

¹L2TI, Institut Galilée, Université Paris 13 Sorbonne Paris Cité, 99 avenue J.-B. Clément, 93 430 Villetaneuse, France

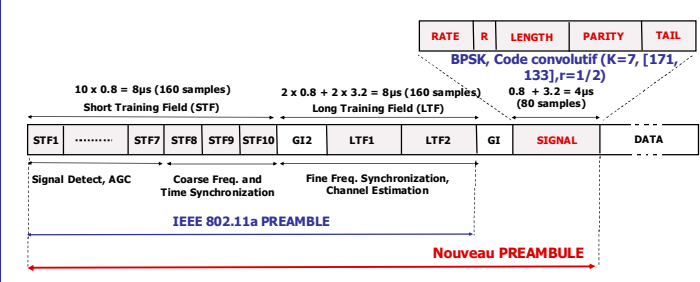
²LSS/CNRS, SUPELEC, 3 rue Joliot Curie, 91 192 Gif sur Yvette, France

³VNU University of Engineering and Technology, E3, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

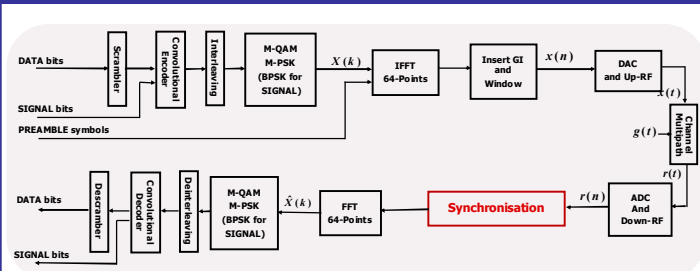
{luong.nguyen, anissa.mokraoui}@univ-paris13.fr, pierre.duhamel@lss.supelec.fr, linhtrung@vnu.edu.vn

Nous traitons le problème de la synchronisation temporelle de stations mobiles dans un système de transmission OFDM de type IEEE 802.11a. Bien que des solutions pour compenser les décalages en temps aient déjà été proposées, nous avons développé une nouvelle approche qui exploite non seulement les informations habituellement dédiées à la synchronisation mais également de nouvelles sources d'informations connues par le récepteur qui les exploitera. Le champ SIGNAL de la trame physique, composé de deux sous-champs, a été identifié. Ce champ est parfaitement prédit par le récepteur à partir d'informations contenues dans la trame de contrôle RTS lorsque le mécanisme de réservation de support (CSMA/CA) est activé conjointement à des algorithmes d'adaptation de débit de transmission au canal. De plus, nous effectuons conjointement l'estimation de canal, ce qui améliore encore les performances de synchronisation. Les résultats de simulation montrent que notre algorithme robuste de synchronisation en temps, conforme au standard 802.11a, améliore la probabilité de détection de paquets réellement transmis comparée aux méthodes classiques.

I. Trame physique IEEE 802.11a



II. Système de communication IEEE 802.11a



Notations

- $x(n)$: signal émis
- h : réponse impulsionnelle du canal de longueur L
- $g(n)$: bruit Gaussien additif de variance σ_g^2
- θ : décalage temporel entre les symboles OFDM
- $\epsilon = \Delta F_c T$: décalage fréquentiel normalisé avec T la durée d'un symbole OFDM et ΔF_c l'écart entre la fréquence porteuse de l'émetteur et celle du récepteur

Signal reçu puis transposé en bande de base :

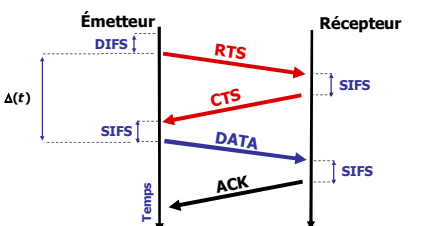
$$r_s(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)x(n-i-\theta)e^{j2\pi\epsilon(n-i-\theta)} + g(n)$$

Objectifs : Compenser les décalages avant la démodulation

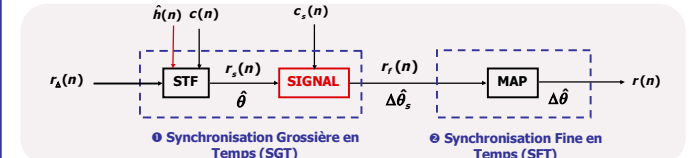
III. Algorithme de synchronisation robuste

- Objectif : Compenser le décalage temporel entre les stations mobiles
- Informations exploitées par notre algorithme :
 - Préambule IEEE 802.11a dédié à la synchronisation (STF, LTF)
 - Extraction par le récepteur de nouvelles sources d'information disponible au niveau de la couche physique

Mécanisme d'esquive de collisions (CSMA/CA) activé :



Principe de l'algorithme proposé :



III. 1. Synchronisation grossière en temps

Habituellement, l'estimation grossière du décalage en temps est déduite de la corrélation calculée entre la séquence d'apprentissage et le signal reçu comme suit :

$$\hat{\theta} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \left| \sum_{n=0}^{L_{STF}-1} c^*(n)r_s(n+\theta) \right|$$

Pour améliorer cette estimation, nous avons apporté les modifications suivantes :

- Estimation du signal émis $\hat{x}(n)$:
 - LTF de la trame de contrôle RTS pour l'estimation du canal au sens du MAP :

$$\hat{h} = (G^H G + \sigma_g^2 R_h^{-1})^{-1} (G^H r + \sigma_g^2 R_h^{-1} \mu_h)$$
 - r : signal associé à la séquence LTF de la trame de contrôle RTS
 - R_h : matrice de covariance (μ_h respectivement vecteur moyenne) du vrai canal
 - G : matrice d'échantillons de la séquence d'apprentissage
 - Egalisation zero-forcing : $X(k) = R_s(k)/\hat{H}(k)$ (avec $0 \leq k \leq N-1$)

- Estimation grossière du décalage : $\hat{\theta} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \left| \sum_{n=0}^{L_{STF}-1} c^*(n)\hat{x}(n+\theta) \right|$
 - Avec $c(n)$ la séquence connue représentée par les 10 STF; L_{STF} la longueur des 10 STF
 - Le signal reçu puis compensé en bande de base :

$$r_s(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)x(n-i-\Delta\theta_s)e^{j2\pi\epsilon(n-i-\Delta\theta_s)} + g(n) \quad \text{avec } \Delta\theta_s = \hat{\theta} - \theta$$

- Extension de la séquence d'apprentissage : Identification du champ SIGNAL
 - Prédiction du champ LENGTH (basée sur la trame de contrôle CTS)
 - Prédiction du champ DURATION (basée sur la trame de contrôle RTS)

- Estimation du décalage résiduel :
 - Parmi $\Theta = \{\Delta\theta_s^{(k)} | k = -K, \dots, K\}$ on cherche $\Delta\hat{\theta}_s = \underset{\Delta\theta_s^{(k)}}{\operatorname{argmax}} \left| \sum_{n=0}^{L_{SIGNAL}-1} c_s^*(n)r_s(n+\Delta\theta_s^{(k)}) \right|$
 - Avec $c_s(n)$ la séquence connue associée au SIGNAL et GI; L_{SIGNAL} la longueur du champ SIGNAL et GI

III. 2. Compensation du décalage en fréquence

On suppose ϵ parfaitement connu; $\Delta\theta$ le nouveau décalage résiduel $\Delta\theta = \Delta\hat{\theta}_s - \Delta\theta_s$

- Le signal reçu, compensé en fréquence puis transposé en bande de base :

$$r_r(n) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)x(n-i-\Delta\theta)e^{-j2\pi\epsilon n\Delta\theta} + g(n)$$

III. 3. Synchronisation fine du décalage en temps

Estimation conjointe de la réponse impulsionnelle du canal et du décalage résiduel

- Soit $\Delta\theta_m \in \Lambda = \{-\Delta\theta_M, \dots, \Delta\theta_M\}$
- L'estimation de la réponse impulsionnelle du canal au sens du MAP :

$$\hat{h}_{\Delta\theta_m} = (G^H G + \sigma_g^2 R_h^{-1})^{-1} (G^H r_r + \sigma_g^2 R_h^{-1} \mu_h)$$
 - Avec r_r le signal reçu associé à la séquence d'apprentissage LTF
 - Le décalage optimal :

$$\Delta\hat{\theta} = \underset{\Delta\theta_m}{\operatorname{argmax}} \left\{ \sum_{n=0}^{L-1} |\hat{h}_{\Delta\theta_m}(n)|^2 \right\}$$

IV. Résultats de simulation

- Paramètres de simulation :
 - Conforme au mode 1 du standard 802.11a
 - Bandwidth $B=20$ MHz; Sampling time $T_s=50$ ns; Number of sub-carriers $N_c=52$; Number of FFT/IFFT points $N=64$; Sub-carrier spacing $\Delta F=0.3215$ MHz; Data rate $R=6$ Mbps.
 - Canal de transmission : Rice avec COST207-RA;
 - Autres paramètres : Frequency offset $\Delta F_c=0.5\Delta F$; $L_{STF}=160$; $L_{SIGNAL}=80$; $M=30$; $K=80$.

- Comparaison des performances :
 - Algorithme 1 (MAP) : Algorithme conjoint de synchronisation et d'estimation de canal, modifié (critère des MC remplacé par le critère MAP pour l'estimation du canal);
 - Algorithme 2 (SIGNAL-MAP) : la synchronisation grossière n'estime pas le canal;
 - Algorithme 3 (EC-SIGNAL-MAP) : Algorithme proposé.

Pour SNR = 17.5dB et Ecart ≤ 4 :

PSF(MAP) = 7×10^{-2}
 PSF(SIGNAL - MAP) = 3.5×10^{-2}
 PSF(EC - SIGNAL - MAP) = 7×10^{-4}

