





cnes

Karine Zidane<sup>1,2</sup>

Encadrants: Jérôme Lacan<sup>1</sup>, Mathieu Gineste<sup>3</sup>, Caroline Bes<sup>4</sup>, Arnaud Deramecourt<sup>4</sup> <sup>1</sup>ISAE/DISC, Toulouse <sup>2</sup>TéSA, Toulouse <sup>3</sup>Thales Alenia Space, Toulouse <sup>4</sup>CNES, Toulouse

Séminaire TéSA - Octobre 2015

## Plan

- Introduction
- Méthodes d'accès aléatoire traditionnelles
- Nouvelles méthodes d'accès aléatoire
- Partie 1: Estimation de canal pour la suppression des interférences
  - Conclusions et perspectives de la partie 1
- Partie 2: Multi-Replica Decoding using Correlation based Localisation
  - Conclusions et Perspectives de la partie 2

## Introduction

## Introduction

- Délai de propagation (allerretour):
  - 500 ms
- Lien retour:
  - Méthode d'accès: MF-TDMA
  - Accès aléatoire pour les demandes de logon
  - Accès à la demande (DAMA)
     pour la transmission des données
- Quand utiliser **l'accès aléatoire** au lieu du DAMA?
  - Profil de trafic **sporadique**
  - Paquets de données très courts



Example de transmission MF-TDMA

#### Méthodes d'accès aléatoire traditionnelles

#### Méthodes d'accès aléatoire traditionnelles

- Pas de **délais d'allocation** de ressources
- Moins de collisions quand le nombre d'émetteurs est restreint
- Le nombre moyen maximum d'utilisateurs capables de transmettre leurs paquets correctement est 36/100 slots avec DSA [1] (débit maximal = 36%)



#### Nouvelles méthodes d'accès aléatoire



- Deux copies du même paquet sont transmises par utilisateur, chaque copie contient une information pour localiser l'autre
- Un paquet sans collision est décodé et sa copie est supprimée de la trame (en anglais, Interference Cancellation)
- Le débit de sortie maximal obtenu avec CRDSA est de 51%



- Deux copies du même paquet sont transmises par utilisateur, chaque copie contient une information pour localiser l'autre
- Un paquet sans collision est décodé et sa copie est supprimée de la trame (en anglais, Interference Cancellation)
- Le débit de sortie maximal obtenu avec CRDSA est de 51%



- Deux copies du même paquet sont transmises par utilisateur, chaque copie contient une information pour localiser l'autre
- Un paquet sans collision est décodé et sa copie est supprimée de la trame (en anglais, Interference Cancellation)
- Le débit de sortie maximal obtenu avec CRDSA est de 51%



- Deux copies du même paquet sont transmises par utilisateur, chaque copie contient une information pour localiser l'autre
- Un paquet sans collision est décodé et sa copie est supprimée de la trame (en anglais, Interference Cancellation)
- Le débit de sortie maximal obtenu avec CRDSA est de 51%

#### Nouvelles versions de CRDSA





- Des versions plus récentes de CRDSA utilisent **3, 4 ou 5 répliques par paquet**.
- Avec des paquets à égale puissance et un modcod QPSK1/2, le débit max est de 0.7
- Quand la puissance des paquets reçus est inégale (distribution aléatoire d'écart-type σ) le débit peut atteindre 1.3 avec 3 répliques/paquet et un modcod QPSK1/2

#### Autres nouvelles techniques d'accès aléatoire

- Coded Slotted ALOHA(CSA) [3]
  - Le paquet est divisé en k segments, qui sont encodés avec un code à effacement (n,k)
  - Le récepteur rassemble les segments d'un même paquet, et essaye de décoder
  - Débit max = 60%
- Multi-Slot Coded ALOHA (MuSCA) [4]
  - Codage correcteur d'erreur de rendement<1/2
  - Débit max = 120% avec des paquets à égale puissance



## PARTIE 1

# Estimation du canal pour la suppression des interférences

#### Suppression imparfaite des interférences

• Signal discret reçu sur un slot temporel

 $y(i) = h_1(i)x_1(i) + h_2(i)x_2(i) + \dots + h_n(i)x_n(i)$ Signal utile Signaux interférents T<sub>e</sub> est la période de sur-échantillonnage

Hypothèses sur le canal de transmission pour chaque utilisateur k

 $h_k(i) = A_k e^{j(2\pi\Delta f_k i T_e + \varphi_k)} + d\acute{e} calage \ temporel \ \tau_k = \pm T_e, \ \pm 2T_e, \ \pm 3T_e...$ 

Signal après suppression des interférences

$$\hat{h}_1(i)x_1(i) + [h_2(i)-\hat{h}_2(i)]x_2(i) - \dots + [h_n(i)-\hat{h}_n(i)]x_n(i)$$

• Objectif Optimiser l'estimation de la fonction du canal de chaque interférent afin de minimiser les erreurs résiduelles 'e'

# Algorithme EM pour l'estimation de canal

- L'algorithme EM (en anglais, Expectation-Maximization) est une méthode d'estimation itérative constituée de deux étapes
- Etape E: Pour chaque utilisateur k, et à chaque itération m

$$\widehat{p_k}^{(m)}(i) = b_k(i)\widehat{A_k}^{(m)}e^{\left(2\pi\widehat{\Delta f_k}^{(m)}T_s i + \widehat{\phi_k}^{(m)}\right)} + \beta_k\left[r(i) - \sum_{l=1}^n b_l(i)\widehat{A_l}^{(m)}e^{\left(2\pi\widehat{\Delta f_l}^{(m)}T_s i + \widehat{\phi_l}^{(m)}\right)}\right]$$

• Etape M

$$\min_{A',\Delta f',\phi'} \sum_{i=1}^{T} \left| b_k(i) \widehat{p}_k^{(m)}(i) - A' e^{\left(2\pi \widehat{\Delta f'} T_s i + \widehat{\phi'}\right)} \right|^2$$

 $\mathbf{b}_{\mathbf{k}}(\mathbf{i})$ : le i<sup>ème</sup> symbole **pilote**  $\mathbf{r}(\mathbf{i})$ : la somme des i<sup>ème</sup> symboles pilotes reçus correspondants aux paquets en **collision** 

### Méthode d'estimation de canal proposée [5]

• Initialisation par auto-corrélation de l'algorithme EM:



• Estimation jointe au décodage



#### Résultats de la méthode d'estimation



Taux d'erreurs paquets (PER) en fonction de Es/N0 après estimation du canal et suppression d'un paquet interférent (cas de paquets synchrones et non synchrones)



Taux d'erreurs paquets (PER) en fonction de Es/N0 après estimation du canal et suppression des interférences (cas de 1, 2, 3 ou 4 paquets interférents)

## **Conclusions de la partie 1**

- L'estimation de canal avec l'**algorithme EM jointe au décodage** et initialisée par une technique d'**auto-corrélation** aboutit à une dégradation de **PER**:
  - de **0.1 dB** dans le cas de paquets synchrones
    - de **0.3 dB** dans le cas de paquets **non synchrones**
- La complexité de l'algorithme dépend de:
  - Le nombre d'itérations EM
  - Le nombre de paquets superposés
  - Le nombre d'itérations d'estimation liée au décodage

## PARTIE 2

#### Multi Replica Decoding using Correlation based Localisation

#### Multi Replica Decoding using Correlation based Localisation (MARSALA) [6]

- Le récepteur choisit un **signal de** référence (ex: Slot1)
- La corrélation entre le signal sur le slot1 et le reste de la trame présente des peaks
- Les peaks correspondent aux slots contenant les autres répliques
- Les répliques localisées sont
   sommées après correction des effets du canal sur chaque slot



1- Trame avec tous les paquets en collision



3- Sommation des slots contenant les répliques du paquet 2a

## Localisation par corrélation



• Signal reçu sur le slot 1

 $y_1(t) = s_1(t - \tau_1)e^{j(\phi_1 + 2\pi\Delta f_1 t)} + n_1(t) + y_{int,1}(t)$ 

• Signal reçu sur le slot i, avec i=2 ou i=4

$$y_i(t) = s_1(t - N_i T_s - \tau_i) e^{j(\phi_i + 2\pi\Delta f_i t)} + n_i(t) + y_{int,i}(t)$$

$$y_{i}(t) = y_{1}(\underbrace{t - N_{i}T_{s} - \Delta\tau_{i,1}}_{t'})e^{j\Delta\phi_{i,1}}$$

$$\underbrace{-n_{1}(t')e^{j\Delta\phi_{i,1}} - y_{int,1}(t')e^{j\Delta\phi_{i,1}} + n_{i}(t) + y_{int,i}(t)}_{n_{tot}(t)}$$

*s*<sub>1</sub>: Symbole mis en forme, reçu *τ*: Décalage temporel *n*: Bruit blanc Gaussien *y*<sub>int</sub>: signal interférent

#### Correction des paramètres du canal

• La corrélation entre  $y_1$  et  $y_i$  permet de calculer  $\Delta \tau_{i,1}$  et  $\Delta \phi_{i,1}$ 

$$\begin{aligned} R_{y_i,y_1}(\widehat{\tau}_{max_i}) &= \int_t y_1(t) y_1^*(t - err_i) dt * e^{j\Delta\phi_{i,1}} \\ &+ \int_t n_{tot}(t) * y_1^*(t - \widehat{\tau}_{max_i}) dt \end{aligned}$$

• avec:

$$\widehat{\tau}_{max_i} = N_i T_s + \Delta \tau_{i,1} + err_i$$

$$err_i \sim \mathbf{U}(-T_e/2; T_e/2)$$

$$\widehat{\Delta\phi}_{i,1} = \Delta\phi_{i,1} + \phi_{err_i}$$



Fonction de densité de probabilité de l'erreur d'estimation de  $\Delta \phi$ 

## Sommation des signaux

- "Maximum Ratio Combining" pour MARSALA
  - Chaque signal correspondant à une réplique contient un nombre différent d'interférents
  - Pour un performance optimale, chaque signal est pondéré par un facteur α proportionnel à son rapport Signal / Bruit + Interférences (SNIR)
  - Ensuite, les signaux sont sommés en présence des erreurs de corrections de phase et de temps

$$y_{sum}(m) = \underbrace{\left[\alpha_1 \tilde{s}_1 \left(mT_s - \tau_1\right) + \sum_i \alpha_i \tilde{s}_1 \left(mT_s - \tau_1 + err_i\right) * e^{j\phi_{err_i}}\right]}_{s_{1sum}(m)} \\ * e^{j\left(\phi_1 + 2\pi\Delta f_1 m \frac{T_s}{M}\right)} + z_1(m) + \sum_i z_i(m)$$

## Résultats numériques

 Si la sommation des répliques est parfaitement cohérente, le SNIR équivalent serait égal à

$$SNIR_{eq_{ref}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N_b} \alpha_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N_b} \alpha_i^2 SNIR_i^{-1}}$$

- Avec N<sub>b</sub> le nombre de répliques émises par paquet
- Le SNIR<sub>eq</sub> avec erreurs de sommation est

$$SNIR_{eq} = \frac{SNIR_{eq_{ref}}}{deg_{Nb}}$$



Dégradation en dB du SNIR<sub>eq</sub> induite par les erreurs de sommation, dans le cas de 2 répliques (a) et 3 répliques (b)

## Résultats des simulations



# Conclusions de la partie 2 et perspectives

- MARSALA permet de débloquer le décodeur lorsque tous les paquets sur la trame sont en collisions
- Avec MARSALA, le débit de sortie est significativement élevé par rapport à CRDSA dans le cas de **paquets à égale puissance**
- Le futur travail consistera en:
  - Etudier l'efficacité de MARSALA dans un scénario où les puissances des paquets sont distribuées aléatoirement
  - Etudier **différents profils de traffic** réels et analyser les gains en performance sur les **couches plus hautes**

## Références

[1] L. Choudhury Gagan and S. Rappaport Stephen, "Diversity aloha–a random access scheme for satellite communications," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 31, no. 3, pp. 450–457, Mar 1983.

[2] E. Casini, R. D. Gaudenzi, and O. D. R. Herrero, "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA) : An enhanced random access scheme for satellite access packet networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2007.

[3] M. Chiani, G. Liva, and E. Paolini, "The marriage between random access and codes on graphs: Coded slotted aloha," in *Satellite Telecom- munications (ESTEL), 2012 IEEE First AESS European Conference on*, Oct 2012, pp. 1–6.

[4] H.-C Bui, J. Lacan, and M.-L. Boucheret, "An enhanced multiple random access scheme for satellite communications," in *Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2012*, April 2012, pp. 1–6.

**[5]** Zidane, K.; Lacan, J.; Boucheret, M.-L.; Poulliat, C.; Gineste, M.; Roques, D.; Bes, C.; Deramecourt, A., "Effect of Residual Channel Estimation Errors in Random Access Methods for Satellite Communications," in Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015 IEEE 81st, May 2015

**[6]** H.-C Bui, K. Zidane, J. Lacan, M.-L Boucheret, "A Multi-Replica Decoding Technique for Contention Resolution Diversity Slotted Aloha", VTC FALL 2015.

## Merci de votre attention