



HAL
open science

Allocation non égoïste des canaux dans les réseaux à radio cognitive pour les smart grids

Sabrina Aroua, Inès El-Korbi, Yacine Ghamri-Doudane, Leila Azouz-Saidane

► **To cite this version:**

Sabrina Aroua, Inès El-Korbi, Yacine Ghamri-Doudane, Leila Azouz-Saidane. Allocation non égoïste des canaux dans les réseaux à radio cognitive pour les smart grids. CoRes 2016, May 2016, Bayonne, France. hal-01308243

HAL Id: hal-01308243

<https://hal.science/hal-01308243>

Submitted on 27 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Allocation non égoïste des canaux dans les réseaux à radio cognitive pour les smart grids

Sabrina Aroua^{1, 2} Inès El Korbi¹ Yacine Ghamri-Doudane² et Leila Azouz Saidane¹

¹*Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Laboratoire CRISTAL, Université de Manouba, 2010, Tunisie*

²*Université de la Rochelle, Av. Michel Crépeau, 17042, Laboratoire L3i, La Rochelle CEDEX 1, France*

Dans cet article nous proposons une nouvelle méthode d'allocation distribuée des canaux pour le réseau de capteurs à radio cognitive déployé pour les réseaux électriques de distribution dits smart grids (SG). La solution permet d'éviter l'accès égoïste des capteurs pour la transmission des données tout en respectant l'hétérogénéité du trafic généré et sans l'utilisation d'un canal de contrôle en commun (CCC). La solution proposée est évaluée par l'outil de la simulation qui montre sa capacité à réaliser une allocation équitable des ressources spectrales sans l'utilisation d'un élément central.

Keywords: réseau de capteurs à radio cognitive, smart grids (SG), hétérogénéité, non égoïste, CCC

1 Introduction

Déployer un réseaux de capteurs sans fil à radio cognitive pour la fonction smart metering (SM) du SG permet l'exploitation des portions du spectre non utilisées par les utilisateurs primaires (UP). Le trafic généré par les capteurs déployés est hétérogène. La priorité d'un nœud à accéder au spectre dépend généralement de l'impact du trafic généré ainsi que de l'influence du bâtiment surveillé sur la stabilité du réseau électrique. Bien que certains travaux abordent le problème de l'allocation des canaux dans l'environnement des SG [GASA13] [HJC13], ces études se basent sur l'hypothèse quasiment impraticable de l'existence d'un CCC partagé entre les capteurs dits utilisateurs secondaires (US) pour échanger les messages de signalisation. Dans cet article, nous utilisons le réseau de capteurs sans fil à radio cognitive pour la fonction SM du SG. Nous proposons une nouvelle méthode d'allocation des canaux qui ne dépend pas d'un CCC et qui évite le comportement égoïste des nœuds dans l'accès aux canaux. Chaque nœud prédit les canaux choisis par ses nœuds voisins et en se basant sur cette prédiction il commence sa transmission dans l'un des canaux non alloués ou bien il entre en état endormi. Chaque nœud fait une allocation des ressources qui maximise l'utilisation de son réseau local composé par ses nœuds voisins et qui respecte leurs priorités dans la transmission des données. Nous utilisons le taux d'arrivée moyen des paquets comme poids du trafic généré reflétant son influence sur la distribution de l'électricité dans les SG. Par conséquent, nous considérons le nombre moyen des paquets stockés dans la file d'attente de chaque nœud dont la taille maximal est finie comme métrique d'accès aux canaux. La décision d'un capteur pour accéder au spectre est formulée en un processus de décision markovien partiellement observable (POMDP).

La suite de cet article est organisée comme suit. La section II présente le modèle du réseau déployé ainsi que la stratégie non égoïste d'accès au spectre. Dans la section III, nous évaluons par simulation les performances de la solution proposée. Une conclusion et des perspectives sont données dans la section IV.

2 Modèle du réseau et stratégie d'accès au spectre

Au niveau des bâtiments des consommateurs, au moins un capteur est déployé pour contrôler l'utilisation et la production locale de l'énergie. Les informations collectées sont transmises d'une manière opportuniste vers un nœud central appelé sink. Soit N le nombre des nœuds installés $[n_1, \dots, n_N]$. Nous supposons que les capteurs sont placés à un saut du sink. Le spectre est divisé en C canaux $[c_1, \dots, c_C]$. Le sink est équipé

de C antennes. Chaque nœud capteur est équipé d'un buffer de taille finie B , afin de stocker les paquets en attente de transmission.

2.1 Communication synchronisée des US

La transmission des données vers le sink se fait d'une manière synchronisée. Le temps est divisé en des périodes composées de 3 sous-périodes : de génération des données, d'écoute des canaux, et une sous-période de transmission de durées respectives T_{gen} , T_{ss} et T_{tr} . Durant T_{gen} , le trafic est généré suivant le processus de Poisson de paramètre α_i tel que $i \in [1, \dots, N]$. Le capteur recherche l'ensemble des canaux libres du signal primaire durant T_{ss} . Durant T_{tr} , la transmission des données est réalisée au travers l'un des canaux disponibles. Un nœud n_i peut transmettre au maximum $D - 1$ paquets précédés par une transmission avec succès des *RTS/CTS*. La période T_{tr} est divisée en D micro-slots de durée T_p . T_p est la durée nécessaire pour envoyer un paquet de données avec succès. Le premier micro-slot est utilisé pour l'échange des *RTS/CTS*. Une fois un paquet perdu est détecté, il sera retransmis jusqu'à recevoir un *ACK*.

2.2 Hétérogénéité du réseau secondaire

Le contenu ainsi que la quantité du trafic généré par les nœuds capteurs diffèrent d'un capteur à un autre. Le taux moyen d'arrivée des paquets fournit une mesure de la priorité d'un nœud à accéder au spectre. Le deuxième type d'hétérogénéité au niveau du réseau secondaire est l'hétérogénéité des voisinages. Si n_j est un nœud voisin de n_i et n_y est un nœud voisin de n_j alors rien ne permet de dire que n_y est un voisin de n_i . Le troisième type d'hétérogénéité concerne les canaux détectés libre par les nœuds. L'arrivée du signal primaire suit un processus de Poisson de paramètre λ_{ki} tel que $k \in [1, \dots, C]$ et $i \in [1, \dots, N]$. L'arrivée moyenne du trafic primaire dépend du couple (nœud, canal). Nous utilisons la chaîne de Markov à deux états (libre, occupé) [QZC07] pour estimer l'état d'un canal durant T_{ss} par rapport à l'existence du signal primaire. La probabilité que c_k soit détecté libre par n_i durant T_{ss} de la période t est $\omega_{ki}(t)$. Ces trois types d'Hétérogénéités causent un déséquilibre au niveau du partage des ressources. Pour cette raison, nous proposons dans la section suivante une nouvelle méthode décisionnelle d'accès aux canaux qui considère cet environnement hétérogène.

2.3 Nombre de paquets stockés dans la file d'attente

Le principe de notre approche est d'estimer le nombre de paquets stockés dans la file d'attente de chacun des nœuds voisins. On pose :

- $\pi(b, -1, -1)(t)$: la probabilité d'avoir b paquets stockés à la fin de T_{gen} de la période t .
- $\pi(b, 0, c_k)(t)$: la probabilité de choisir le canal c_k à la fin de T_{ss} avec b paquets stockés.
- $\pi(b, d, c_k)(t)$: la probabilité d'avoir b paquets durant le micro-slot d ($d \in [1, \dots, D]$) tel que le canal c_k est utilisé pour la transmission des données.

A la fin de T_{gen} , le nombre de paquets stockés dans la file de n_i dépend des facteurs suivants :

- $P_{loss_{ki}}$: le taux moyen de perte des paquets dans c_k .
- $P_{re_{ki}}$: la probabilité de réapparition du signal primaire dans c_k durant T_p .
- P_{ski} : la probabilité qu'au moins un nœud voisin transmet le *RTS* dans c_k simultanément avec n_i .
- $\Omega_{ki}(t)$: la probabilité que n_i choisisse le canal c_k à la fin de T_{ss} de la période t si $k \in [1, \dots, C]$ ou qu'il entre en état endormi si tous les canaux sont écoutés occupés par les UP ($k = -1$).
- ω_{ki} : La probabilité stationnaire de l'état libre du canal c_k .

Pour calculer $\Omega_{ki}(t)$ nous supposons qu'un nœud n_i choisit un canal c_k indépendamment des choix des nœuds voisins et que l'état d'un canal est indépendant des états des autres canaux.

$$\Omega_{ki} = \frac{\omega_{ki}}{\sum_{l=1}^C \omega_{li} + \prod_{l=1}^C (1 - \omega_{li})}, \text{ si } k \in [1, \dots, C], i \in [1, \dots, N] \quad (1)$$

$$\Omega_{-1i} = \frac{\prod_{l=1}^C (1 - \omega_{li})}{\sum_{l=1}^C \omega_{li} + \prod_{l=1}^C (1 - \omega_{li})}, i \in [1, \dots, N] \quad (2)$$

D'où :

$$\pi(b, 0, c_k)(t) = \Omega_{ki} \pi(b, -1, -1)(t), b \in [1, \dots, B] \text{ et } k \in [1, \dots, C] \quad (3)$$

Allocation non égoïste des canaux dans les réseaux à radio cognitive pour les smart grids

$$\pi(b, 0, -1)(t) = \Omega_{-1i} \pi(b, -1, -1)(t), b \in [1, \dots, B] \quad (4)$$

De même, nous estimons $P_{s_{ki}}$ la probabilité qu'au moins un des nœuds de la liste des voisins de n_i notée N_i commence sa transmission dans c_k comme suit :

$$\tilde{P}_{s_{ki}} = 1 - \prod_{n_j \in N_i} ((1 - \tilde{P}_{Emp_j}) \cdot (1 - \Omega_{kj})), k \in [1, \dots, C], i \in [1, \dots, N] \quad (5)$$

\tilde{P}_{Emp_j} : est la probabilité que n_j ait au moins un paquet stocké. \tilde{P}_{Emp_j} est estimée chaque L périodes.

Vu le processus de Poisson du trafic primaire, la probabilité $P_{re_{ki}}$ est calculée comme suit :

$$P_{re_{ki}} = 1 - e^{-\lambda_{ki} T_p}, k \in [1, \dots, C], i \in [1, \dots, N] \quad (6)$$

Par conséquent, la probabilité de transmettre un paquet de donnée avec succès durant le micro-slot d est :

$$\begin{aligned} \pi(b, d, c_k)(t) &= (1 - P_{re_{ki}})(1 - P_{loss_{ki}}) \pi(b+1, d-1, c_k)(t) \\ &= e^{-\lambda_{ki} T_p (d-1)} (1 - P_{loss_{ki}})^{(d-1)} \pi(b+d-1, 1, c_k)(t), b \in [1, \dots, B-d+1], d \in [2, \dots, D] \end{aligned} \quad (7)$$

La probabilité d'échanger les RTS/CTS avec le sink avec succès durant la période t est :

$$\pi(b, 1, c_k)(t) = (1 - P_{re_{ki}})(1 - P_{loss_{ki}})(1 - P_{s_{ki}}) \pi(b, 0, c_k)(t), b \in [1, \dots, B] \quad (8)$$

2.4 Accès non égoïste au spectre

Une fois la liste des canaux disponibles obtenue, le nœud n_i sélectionne le canal qui maximise l'utilisation de son réseau local constitué par ses nœuds voisins. Si les autres nœuds voisins sont plus prioritaires à transmettre leurs données alors n_i passe à l'état endormi durant T_{tr} .

Pour n_i , nous formulons la décision du choix du canal par n_j ($n_j \in \{n_i\} \cup N_i$) en POMDP vue que l'état interne de la file d'attente de n_j (un nœud voisin de n_i) est non connu par n_i . n_i possède le vecteur des probabilités $\Psi_j \in S_j$ (S_j est l'espace des états de n_j) comme état de la file d'attente de n_j . Ψ_j indique l'estimation de l'occupation du buffer à la fin de la période de génération de la période se déroulant à $t+1$.

$$\Psi_j(t) = [\pi(0, -1, -1)(t+1), \pi(1, -1, -1)(t+1), \dots, \pi(B, -1, -1)(t+1)], n_j \in \{n_i\} \cup N_i \quad (9)$$

Soit $a_{n_i} \in [-1, c_1, \dots, c_C]$ l'action associée à n_i . Elle consiste à choisir le canal c_k pour la transmission des données si $a_{n_i} \in [c_1, \dots, c_C]$. Sinon ($a_{n_i} = -1$), n_i entre en état endormi.

Une statistique suffisante pour que n_i prenne une décision d'allocation d'un canal adéquate pour n_j en se basant sur l'espace des observation $O_j(t) = \{P[o_{\Psi_j}(t), a_{n_j}](t)\}_{\Psi_j \in S_j}$ est $\Lambda_j(t) = \{v_j(t)^{\Psi_j}\}_{\Psi_j \in S_j}$ qui se met à jour en utilisant la formule de Bayes. $v_j(t)^{\Psi_j}$ est la probabilité que n_j soit à l'état Ψ_j durant la période t .

$$P[o_{\Psi_j}(t), a_{n_j}](t) = \begin{cases} \Omega_{kj}(t) & \text{if } a_{n_j} = c_k, c_k \neq -1 \\ \Omega_{-1j}(t) & \text{if } a_{n_j} = -1 \end{cases} \quad (10)$$

La fonction de récompense $R_{a_{n_j}}$ correspond à la probabilité que n_j transmette avec succès $D-1$ paquets une fois l'action a_{n_j} est prise ($n_j \in \{n_i\} \cup N_i$).

$$R_{a_{n_j}}(t) = \left(\sum_{b=0}^{B-D+1} e^{-\lambda_{kj} T_p} (1 - P_{loss_{kj}}) \pi(b+1, D-1, a_{n_j})(t) + \sum_{d=2}^{D-1} e^{-\lambda_{kj} T_p} (1 - P_{loss_{kj}}) \pi(1, d-1, a_{n_j})(t) \right) v_j(t)^{\Psi_j} \quad (11)$$

si $a_{n_j} \in [c_1, \dots, c_C]$

$$R_{a_{n_j}}(t) = 0, \text{ si } a_{n_j} = -1 \quad (12)$$

Enfin, chaque nœud n_i choisit le canal qui maximise l'utilisation de son réseau local :

$$\begin{aligned} &\text{Maximiser} && \sum_{j=1}^{N_i} R_{a_{n_j}} + R_{a_{n_i}} \\ &\text{Contraintes} && \forall n_j, n_i \in \{n_i\} \cup N_i, \text{ si } n_j \neq n_i, \\ &&& \Rightarrow a_{n_i} \neq a_{n_j} \forall a_{n_i}, a_{n_j} \notin \{-1\} \end{aligned}$$

3 Evaluation des Performances

Afin de valider la solution proposée, nous avons mené des simulations en utilisant le simulateur OM-NeT++. Nous avons étudié l'impact de la solution sur l'élimination du comportement égoïste des nœuds dans l'accès au spectre ainsi que l'influence de l'absence du CCC sur l'utilisation du spectre. Toutes les données concernant les nœuds voisins nécessaires pour la prise de décision de l'allocation des canaux sont transmises chaque L périodes. Les nœuds sont placés à un saut du sink. Une fois la phase d'écoute des canaux terminée, chaque nœud choisit le canal maximisant l'utilisation de son réseau local.

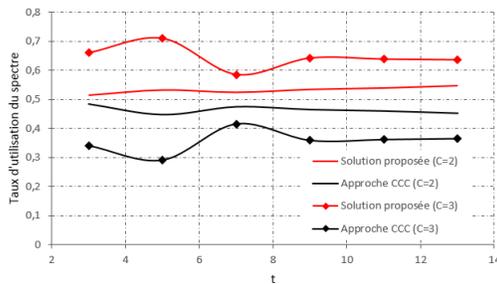


FIGURE 1: Taux d'utilisation du spectre

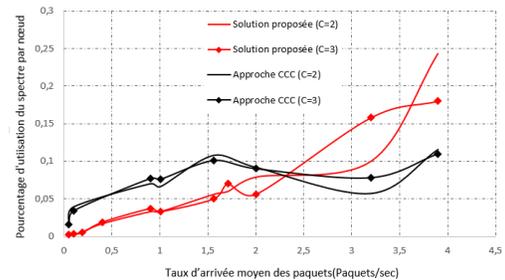


FIGURE 2: Pourcentage d'utilisation du spectre par nœud

Dans un premier temps, pour évaluer l'effet de l'absence de la phase de négociation des canaux sur l'utilisation des ressources spectrales nous avons comparé notre solution avec l'approche traditionnelle basée sur l'existence du CCC. La figure 1 montre que notre approche augmente le taux d'utilisation du spectre. Lorsque le nombre de canaux à écouter est égal à 2 ($C = 2$), la différence entre les deux approches réside dans la non disponibilité continue du CCC qui cause l'annulation de la transmission pour plusieurs périodes. Pour le cas ($C = 3$) la différence est plus grande. Cela peut être plus dû à la saturation du CCC. En conclusion les choix des canaux sont diversifiés et la solution proposée s'affranchit bien du CCC.

Dans la deuxième partie de la simulation nous avons testé l'effet de notre solution sur le comportement égoïste des nœuds. Généralement, un nœud avec des paquets dans la file essaie de transmettre ses données indépendamment de ses voisins. La figure 2 montre qu'en utilisant la solution proposée, l'utilisation du spectre dépend des priorités des nœuds (α_i). Les nœuds avec des α_i plus élevés accèdent au spectre plus que les nœuds avec des α_i plus petits. Ainsi, chaque nœud respecte les priorités de ses voisins. Ce qui n'est pas le cas pour l'approche CCC où l'accès au spectre est indépendant des α_i .

4 Conclusion

Dans cet article nous avons proposé une solution d'accès au spectre non égoïste pour le réseau de capteurs à radio cognitive déployé au niveau des SG sans l'utilisation d'un CCC. Cette solution représente la première partie d'une solution d'allocation distribuée des canaux pour un réseau multi-sauts .

Références

- [GASA13] Vehbi C. Gungor Ghalib A. Shah and Ozgur B. Akan. A cross-layer qos-aware communication framework in cognitive radio sensor networks for smart grid applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pages 1477–1485, August 2013.
- [HJC13] Qian Y Huang J, Wang H and Wang C. Priority-based traffic scheduling and utility optimization for cognitive radio communication infrastructure-based smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, pages 78–86, February 2013.
- [QZC07] A. Swami Q. Zhao, L. Tong and Y. Chen. Decentralized cognitive mac for opportunistic spectrum access in ad hoc networks : A pomdp framework. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pages 589 – 600, February 2007.