



**HAL**  
open science

## Routage dans les réseaux radios cognitifs

Hicham Khalife, Naceur Malouch

► **To cite this version:**

Hicham Khalife, Naceur Malouch. Routage dans les réseaux radios cognitifs. 10ème Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel'08), May 2008, Saint-Malo, France. pp.13-16. inria-00374447

**HAL Id: inria-00374447**

**<https://inria.hal.science/inria-00374447>**

Submitted on 8 Apr 2009

**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.

# Routage dans les réseaux radios cognitifs

Hicham Khalife et Naceur Malouch

Université Pierre et Marie Curie - Paris 6, Laboratoire LIP6/CNRS, UMR 7606, Paris, France

---

Nous présentons une approche de routage spécifique aux réseaux radios cognitifs tenant compte de l'activité et de l'emplacement des nœuds prioritaires appelés primaires. Notre routage s'effectue en deux phases : dans la première, et à l'aide d'une métrique probabiliste, nous attribuons un poids à chaque lien ; cela permet de trouver le meilleur chemin vers la destination. Dans la seconde phase nous vérifions que les capacités sur chaque lien choisi vérifient la demande  $D$  de l'application en terme de débit en *ajoutant* des fréquences entre les nœuds où cette contrainte n'est pas vérifiée. Nous montrons avec des analyses numériques que le nombre de connexions acceptées dépend des caractéristiques imposées par les nœuds primaires et aussi de la fiabilité demandée par l'application qui utilise le réseau cognitif.

**Keywords:** Réseaux radio cognitifs, routage, puissance de transmission, distribution de probabilité

---

## 1 Introduction

Les réseaux radios cognitifs (Cognitive Radio Networks ou CRN) [ALVM06] émergent comme un nouveau concept d'accès et de partage de canal dans les réseaux sans fils. Le but est d'exploiter les bandes passantes résiduelles sur les fréquences sous utilisées du spectre fréquentiel. En effet, plusieurs études récentes [FCC02] ont révélé l'utilisation sous-optimale des bandes radios en insistant sur le fait que les fréquences gratuites (comme celle utilisée par le WiFi par exemple) deviennent surchargées tandis que d'autres bandes restent largement sous-utilisées. Les CRNs forment une nouvelle famille d'utilisateurs radios qui tentent d'exploiter les bandes de fréquences sous-utilisées durant l'absence d'utilisateurs prioritaires et libèrent le canal dès lors que les utilisateurs licenciés de ces fréquences tentent d'y accéder.

Plusieurs études se sont penchées sur les mécanismes des couches PHY et MAC nécessaires pour assurer la cohabitation entre les réseaux cognitifs et les réseaux déjà existants appelés réseaux primaires. Deux contraintes principales sont à respecter par les nœuds cognitifs : *i*) La transmission des nœuds cognitifs ne doit pas perturber la transmission des nœuds primaires s'effectuant sur le même canal, ce qui nécessite un contrôle strict de la puissance de transmission des nœuds cognitifs *ii*) La transmission d'un nœud cognitif doit être immédiatement interrompue lorsqu'un nœud primaire (plus prioritaire sur le canal en question) commence une transmission concurrente. Cette contrainte nécessite une forte coordination entre les deux réseaux. Les études ont conduit à plusieurs propositions au niveau des couches PHY et MAC pour la détection des canaux disponibles et l'estimation de l'interférence et de la puissance de transmission d'un nœud cognitif [ZTSC07]. D'autres études se sont focalisées sur des mécanismes qui permettent d'exploiter les bandes passantes résiduelles sur plusieurs fréquences. Ces mécanismes effectuent des transmissions en parallèles sur plusieurs canaux profitant ainsi de l'une des caractéristiques les plus intéressantes des CRNs [SCK06].

Les efforts précédents étant tous concentrés sur le contrôle d'accès dans une configuration à une seule cellule, il est clair que les réseaux cognitifs multi-sauts s'étalant sur plusieurs réseaux primaires hybrides constituent une évolution logique de cette technologie [ALVM06]. Nous traitons ici le routage dans ces réseaux hybrides et nous présentons une métrique probabiliste de routage dans les réseaux radios cognitifs (section 3.1). Notre métrique prend en compte l'état de chaque fréquence utilisée en considérant les interférences, l'emplacement et l'activité des nœuds primaires sur chaque canal. De plus, nous proposons un algorithme de routage (section 3.2) qui favorise l'utilisation de plusieurs fréquences entre deux nœuds cognitifs exploitant ainsi l'avantage principal de ces réseaux.

## 2 Motivation

Le routage dans un réseau radio cognitif est indissociable du choix des fréquences de transmission sous-jacentes. En effet, un nœud voisin peut être accessible sur un ensemble de fréquences et ne pas l'être sur un autre. Le choix du prochain saut va alors se baser sur les fréquences disponibles et la capacité que chacune peut offrir. Par conséquent, le routage dans les CRNs fait appel aux techniques de conception inter-couches (*cross-layer*) à trois niveaux : PHY, MAC et réseau. Par ailleurs, le routage doit être capable d'exploiter la transmission sur plusieurs fréquences de façon à fournir un débit acceptable en cumulant les capacités résiduelles sur chacune des fréquences disponibles. Ces arguments rendent les propositions de routage existantes dans les réseaux radios ad-hoc et maillés (même multi-canaux) inadaptées aux environnements radios cognitifs et motivent la nécessité de concevoir de nouvelles approches.

## 3 Contributions

Une des hypothèses clé de notre travail est la présence d'un canal de contrôle où toutes les informations de synchronisation et de contrôle sont échangées entre les nœuds cognitifs. A la réception d'une nouvelle demande de communication, un nœud source charge toutes les informations nécessaires à partir du canal de contrôle et lance un algorithme de routage pour trouver un chemin vers la destination. Ensuite un routage à la source est utilisé et les informations de routage sont ajoutées dans l'entête des paquets transmis. Une explication détaillée de cette architecture est présentée dans [KAMK07]. Ci-dessous, nous présentons le calcul de la métrique et son inclusion dans le calcul d'un chemin vers la destination.

### 3.1 Métrique de routage

Nous basons notre étude sur [SKY07] qui montre que l'interférence PR-to-CR subie par un nœud cognitif  $j$  suite à l'activité des nœuds primaires sur la fréquence  $i$ ,  $P_{i,j}^{(i)}$ , peut être approximée par une distribution lognormale de paramètres  $\mu^{(i)}$  et  $\sigma^{(i)}$ . Notons ici que  $i \in 1 \dots M$  où  $M$  représente le nombre total de fréquences utilisables par un nœud cognitif et  $j \in 1 \dots N$  où  $N$  correspond au nombre total de nœuds cognitifs. Le calcul des deux paramètres  $\mu^{(i)}$  et  $\sigma^{(i)}$  est directement lié à la disposition des nœuds primaires autour de  $j$  sur le canal  $i$  que nous approximons par un processus de Poisson homogène de moyenne  $\rho_j^{(i)}$  et l'activité des nœuds primaires que nous approximons par une loi ON/OFF exponentielle de taux  $\alpha_j^{(i)}$ . Pour une demande de communication de débit "D", le nœud source trouve le meilleur chemin vers la destination qui vérifie la demande  $D$  de l'application. Il calcule d'abord un poids pour chaque lien à partir de la probabilité que la capacité calculée sur le lien avec le théorème de Shannon (appliqué au récepteur) est supérieure à la demande en débit de l'application. Plus précisément, pour chaque lien et sur chaque fréquence, un poids est calculé à partir de la probabilité que la capacité  $C_k^{(i)} = W^{(i)} \times \log_2[1 + \frac{P_{r,j}^{(i)}}{N_0 + P_{i,j}^{(i)}}]$  est supérieure à  $D$ . Pour un émetteur cognitif  $k$  et un récepteur  $j$ , cette probabilité peut donc s'écrire comme suit :

$$Pr[C_k^{(i)} \geq D] = Pr\left[P_{i,j}^{(i)} \leq \frac{P_{r,j}^{(i)}}{2^{D/W^{(i)}} - 1} - N_0\right] \quad (1)$$

où  $P_{r,j}^{(i)}$  représente la puissance reçue par le récepteur  $j$  calculée en fonction de la distance connue entre les nœuds cognitifs  $k$  et  $j$ ,  $N_0$  le bruit thermique et  $W^{(i)}$  la bande passante du canal sont des paramètres liés à la technologie sans fil utilisée. Suite aux hypothèses fixées sur  $\rho$  et  $\alpha$ , l'équation (1) n'est autre que la CCDF d'une distribution lognormale et la probabilité peut donc être calculée. Afin de transformer la probabilité en poids d'un lien, nous procédons à une opération mathématique simple tel que le poids d'un lien entre  $k$  et  $j$  sur la fréquence  $i$ ,  $l_{k,j}^{(i)}$ , sera de  $-\log(Pr[C_k^{(i)} \geq D])$ . Par conséquent, plus le poids est faible, plus la probabilité du lien est élevée.

Les poids ainsi calculés identifient le meilleur lien vers la destination mais ne portent aucune information si le lien en question est en mesure d'assurer la demande  $D$ . Il est donc nécessaire d'introduire un estimateur de capacité sur chaque lien. En effet, pour un lien choisi (de poids minimal), le nœud source estime la capacité que ce lien peut transporter. Cela revient à calculer la capacité obtenue sur le lien avec une certaine probabilité :  $Pr[C_k^{(i)} > X] = 90\%$  par exemple. Ainsi, le lien peut assurer la capacité  $X$  dans 90% des cas. Notons aussi que cette probabilité est paramétrable et dépend de l'application demandant le débit.

### 3.2 Algorithme de routage cognitif

---

```

1: Demande D à la source
2: ENTREES :  $P_{l,j}^{(i)}, P_{r,j}^{(i)}, X_k^{(i)}$ 
3: for j=0 to N do
4:   for i=0 to M do
5:      $l_j^{(i)} = -\log(\text{Pr}[C_j^{(i)} > D + U_j^{(i)}])$ 
6:   end for
7: end for
8: Path = Dijkstra ( $N_{Source}, N_{Dest}, l_j^{(i)}$ )
9: if Path then
10:  for j in Path do
11:    c in  $E_j$  //used channel per node
12:    F=getCognitifInterference( $l_j^{(c)}$ )
13:     $C_j^{(c)} = X^{(c)} / F$ 
14:     $U_j^{(c)} += C_j^{(c)}$ 
15:  end for
16:  for j in Path do
17:     $R_j = D$ 
18:    while  $C_j < R_j$  and for all  $i \notin E_j$  do
19:       $R_j = R_j - C_j$ 
20:       $l_j = -\log(\text{Pr}[C_j > D + U_j])$ 
21:      ajout de  $l_j^n$  // ajout de la 2ème meilleure fréquence
22:      F=getCognitifInterference( $l_j^n$ )
23:       $C_j^{(n)} = X^{(n)} / F$ 
24:       $U_j^{(n)} += C_j^{(n)}$ 
25:      n in  $E_j$ 
26:    end while
27:    if ALL  $\sum C_j > \text{Demand}$  then
28:      return Path // à encapsuler dans l'entête du paquet
29:    else
30:       $U_j -= C_j$  // retirer toutes les demandes enregistrées par cet essai
31:      return NULL
32:    end if
33:  end for
34: else
35:  return NULL
36: end if

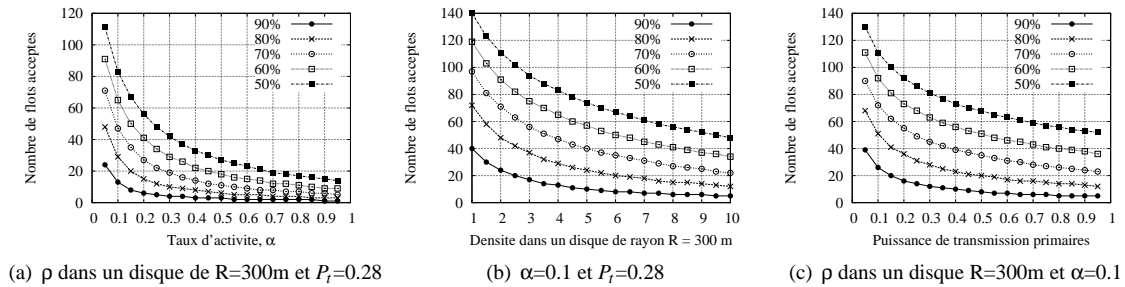
```

---

L'algorithme de routage utilisant la métrique probabiliste est défini comme suit. A la réception d'une demande de communication, la source charge les informations nécessaires (à savoir  $P_{l,j}^{(i)}, P_{r,j}^{(i)}$  et  $X_k^{(i)}$ ) à partir du canal de contrôle puis calcule le poids sur chaque lien (lignes 3 à 7). Elle invoque ensuite l'algorithme de Dijkstra pour trouver le meilleur chemin vers la destination : nous appelons le chemin ainsi obtenu *le chemin le plus probable* (ligne 8). Sur le chemin déjà trouvé, nous estimons lien par lien la capacité réelle que nous pouvons obtenir avec un pourcentage seuil (90% par exemple), à laquelle nous ajoutons les interférences provenant des cognitifs sur la fréquence choisie (lignes 11 à 14). Si  $X + \text{interference} > D$ , alors ce canal est suffisant entre ces 2 nœuds, sinon, nous ajoutons une autre fréquence entre les nœuds en question en sélectionnant la fréquence de poids supérieur (*i.e.* la 2ème meilleure fréquence) jusqu'à satisfaction de  $D$  (lignes 18 à 25). L'algorithme se termine si l'un des deux états suivant est atteint : *i)* tout le chemin vers la destination supporte une capacité supérieure à la demande à chaque saut, ou *ii)* un lien sur le chemin ne peut assurer  $D$  sur toutes ses fréquences disponibles. Notons aussi l'utilisation de la variable  $U$  dans l'algorithme, qui prend en compte les demandes déjà acceptées sur chaque fréquence (lignes 14 et 24). Ainsi, pour chaque nouvelle demande  $D$ , nous vérifions que la capacité du lien est supérieure à la demande en attente et celles déjà acceptées (lignes 5 et 20).

## 4 Analyse de performances

Afin d'analyser les performances du protocole de routage, nous calculons analytiquement le nombre de connexions cognitives acceptées pour différents pourcentages de  $\text{Pr}[C > X]$  (*i.e.* pour différentes valeurs de  $X$ ) et pour différents paramètres réglables provenant des primaires. Notre but est d'étudier la réaction du protocole de routage aux variations d'environnement cognitifs et aux différents seuils de performance tolérés. Deux constatations importantes sont à noter à partir de la Figure 1, où les résultats sont obtenus dans le pire cas d'une topologie en chaîne de 6 nœuds en présence d'une seule fréquence pour une demande  $D$  de 256 Kbits/s. D'une part, plus le taux d'activité, le nombre et la puissance de transmission des primaires augmentent, moins de connexions cognitives sont acceptées. Ceci peut être expliqué à partir de l'équation



**FIG. 1:** Le nombre de flots admis pour différents seuils en variant  $\alpha$ ,  $\rho$  et la puissance de transmission des primaires  $P_t$  (1) qui montre que la capacité est inversement proportionnelle à ces trois paramètres. De plus, ce résultat montre que notre métrique, basé sur (1), est capable de choisir très efficacement le chemin contenant une faible densité de primaires peu actifs *i.e* le chemin de meilleure capacité (constat aussi validé à l'aide de simulations ns-2 dans [KAMK07]). D'autre part, Figure 1 montre que plus le pourcentage seuil est élevé, moins de flots sont admis. En effet, ceci est dû à une plus grande allocation de capacité ( $X$ ) à chaque connexion ce qui réduit le nombre total de connexions acceptées. Nous avons aussi réalisé des simulations avec ns-2 dont les premiers résultats montrent que 80% est le seuil minimal de capacité pour la plupart des applications. Plus d'études sont nécessaires dans cette direction sur plusieurs applications et différentes topologies.

## 5 Conclusion

Nous avons présenté dans cet article, un des premiers algorithmes de routage pour les réseaux radios cognitifs. Notre algorithme se base sur la présence d'un canal de contrôle et est capable de prendre en compte les aspects spécifiques de ces réseaux en considérant les interférences provenant des nœuds primaires. Par ailleurs, le routage présenté favorise implicitement l'utilisation de plusieurs fréquences entre deux nœuds cognitifs et fournit à l'application différents niveaux de fiabilité. Nous avons évalué l'effet que peut avoir la puissance de transmission, l'activité et la densité des nœuds primaires sur les performances de notre protocole. Nous avons ainsi montré par des analyses numériques qu'il est préférable de choisir les chemins qui traversent des régions où les utilisateurs primaires sont peu nombreux et de faible activité. En effet, notre métrique de routage exploite efficacement cet aspect. Dans nos travaux futurs, nous allons exploiter des informations réelles sur les nœuds primaires afin d'affiner nos hypothèses sur l'emplacement et l'activité. De plus, des techniques intelligentes peuvent être utilisées pour combiner l'information et la transmettre sur plusieurs fréquences. Nous étudions dans ce contexte la possibilité d'adapter le *network coding* aux CRNs.

## Références

- [ALVM06] Ian Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, and Shantidev Mohanty. Next generation dynamic spectrum access cognitive radio wireless networks : A survey. *Computer Networks Vol. 50, Issue 13, pp. 2127-2159*, 2006.
- [FCC02] FCC. spectrum policy task force report. *ET docket no. 02-155, November*, 2002.
- [KAMK07] Hicham Khalife, Satyajeet Ahuja, Naceur Malouch, and Marwan Krunz. Joint routing and spectrum selection for multihop cognitive radio networks. *Technical report, available on www-rp.lip6.fr/~khalife/tech-report.pdf*, 2007.
- [SCK06] Tao Shu, Shuguang Cui, and Marwan Krunz. Medium access control for multi-channel parallel transmission in cognitive radio networks. In *IEEE GLOBECOM*, 2006.
- [SKY07] Haythem Salameh, Marwan Krunz, and Oussama Younis. Throughput-oriented mac protocol for opportunistic cognitive radio networks with statistical performance guarantees. *Technical report, University of Arizona UA-ECE-2007-2*, 2007.
- [ZTSC07] Qing Zhao, Lang Tong, Ananthram Swami, and Yunxian Chen. Decentralized cognitive MAC for opportunistic spectrum access in ad hoc networks : A POMPD framework. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Vol. 25, Issue 3, pp. 589-600, Nov.*, 2007.