

Transport point à multipoints dans des réseaux sans fil multi-bandes[†]

Hicham Khalifé¹, Vania Conan¹, Jérémie Leguay¹ and Thrasyvoulos Spyropoulos²

¹ *Thales Communications & Security - FRANCE*

² *EURECOM - FRANCE*

Nous proposons un cadre protocolaire permettant de traiter par groupes plusieurs destinataires dans un réseau radio multi-bandes en mettant en œuvre un contrôle de flux spécifique pour chaque groupe. Cela consiste à établir et adapter dynamiquement pour chaque ensemble de récepteurs deux groupes de destinataires avec des rythmes différents. En fonction de ses propriétés ainsi que de la fréquence utilisée, un récepteur fera partie d'un des groupes. Notre solution assure l'affectation aux groupes grâce aux performances de chaque récepteur en se basant sur le calcul du délai aller-retour (RTT). La frontière entre les groupes ainsi que l'association d'un récepteur à un groupe sont optimisées dynamiquement. Une modélisation théorique ainsi que des validations numériques prouvent l'optimalité de notre protocole.

Keywords: réseaux sans fil multi-bandes, communications point à multipoint, protocole de transport

1 Introduction

Les équipements sans fil sur étagère sont désormais capables d'exploiter plusieurs bandes radio. Cela implique des communications plus agiles sur différentes bandes de fréquence et donc une plus grande diversité des débits. Dans un contexte de communication point à multipoint, où l'objectif est d'échanger des informations au sein d'un ensemble de nœuds partageant des intérêts communs ou la même zone géographique, les destinataires radio peuvent utiliser plusieurs bandes du spectre ou se trouver à des distances différentes de l'émetteur. Cela se traduit par des performances variées en termes de débit, délai et taux de pertes pour chacun des récepteurs d'une même "session".

Dans la littérature des protocoles de transport pour les réseaux radio cognitives ont été proposés [CFA09] [SN10]. Clairement ces protocoles n'adressent pas la problématique de gestion de plusieurs destinataires sur des bandes de fréquences différentes. D'autre part, les protocoles multi destinataires connus aujourd'hui ont été initialement conçus pour fonctionner avec un très grand nombre de récepteurs (sur Internet) [GJ03] [JGM⁺02]. Ils sont donc incapables d'adapter finement leur débit aux performances des récepteurs. Pour assurer un transfert de données dans un environnement hétérogène, le protocole NORM [BCHH09] semble être un bon candidat. Cependant, NORM ajuste son débit aux récepteurs les plus lents au risque de gaspiller les ressources importantes dont bénéficient les destinataires exploitant des canaux haut débit.

Nous proposons un protocole innovant qui exploite les acquittements afin de discriminer dynamiquement les récepteurs pour les réunir par groupe en fonction de leur performance. Notre mécanisme est dirigé par la source du message qui s'assure d'une part que les nœuds bénéficiant de conditions radio favorables recevront les données au plus vite et d'autre part de la fiabilisation de tous les messages émis. Notre classification optimise le débit total du réseau en se basant sur les mesures des temps aller-retour (RTT) de chaque récepteur. Notre modélisation ainsi que nos validations numériques montrent que notre modèle adapte dynamiquement le débit de chaque groupe de destinataires de façon à maximiser l'utilisation des ressources radio.

[†]Ce travail est financé par l'ANR dans le cadre du projet LICoRNe ANR-10-VERS-005

2 Protocole de transport point à multipoint

Notre objectif est de proposer un contrôle de débit et une fiabilisation point à multipoint lorsque les destinataires possèdent des capacités différentes (par exemple, débit, délai, perte). Cela se produit particulièrement quand plusieurs bandes radio ayant des propriétés hétérogènes (fréquence, largeur) sont choisies pour transmettre les mêmes messages à de multiples destinataires. Le problème se résume à gérer la cadence d'envoi des paquets vers plusieurs récepteurs lorsque les vitesses de réception des destinataires sont différentes.

Dans un réseau multi-destinataires, le débit d'un groupe de N membres est exprimé comme la somme des débits de tous les membres du groupe : $\Phi_{group} = \sum_{i=0}^N \Phi_i$ où Φ_i représente le débit observé par le membre i du groupe.

Afin d'éviter que les destinataires qui opèrent sur des bandes radio à bas débit ne pénalisent la capacité des autres, nous proposons de répartir les destinataires dans des ensembles séparés. Nous basons notre discrimination sur le temps aller-retour (RTT) observé par la source pour chacun des destinataires. En considérant 2 groupes, un seul seuil T suffit pour séparer entre les 2 ensembles d'utilisateurs. Les récepteurs ayant un RTT inférieur à T seront considérés comme rapides et ceux observant des délais aller-retour plus grand que T feront parties du groupe lent.

Notre protocole est guidé par la source qui maintient dans une base de données pour chaque flux, le groupe d'appartenance ainsi que le RTT moyen de chacun de ses destinataires. Sur l'interface de sortie de la source, 2 buffers sont ajoutés. Un buffer pour chaque groupe.

En mode de fonctionnement nominal, la source envoie un message au groupe rapide toutes les T secondes et transmet aux lents à chaque T_{max} . Plus précisément, la source émet le message en attente dans la file des rapides et attend le retour des acquittements. Après T secondes, les récepteurs ayant répondu sont labélisés comme rapides, tous les autres feront partie du groupe lent dans la base de données. Dans notre implémentation, nous utilisons une moyenne lissée des RTT portant sur un nombre de mesures pour définir l'appartenance aux groupes afin d'éviter les oscillations. Le message est ensuite transmis à la file des lents en attendant sa nouvelle émission à T_{max} . Plus généralement, le contrôle de débit de notre protocole est dicté par T et T_{max} de la façon suivante :

- A chaque réception d'ACK la source calcule le temps aller-retour du recepneur et met à jour la base de données.

Toutes les T secondes

- L'émetteur fait le bilan des ACK reçus pour le dernier message envoyé et le déplace vers la file du groupe lent
- L'émetteur récupère (pop) un nouveau message à envoyer de la couche supérieure
- Il consulte la base de données pour obtenir l'adresse des nœuds faisant partie du groupe rapide,
- Envoie ce message aux destinataires ainsi retrouvés

Toutes les Tmax secondes

- Le message en tête de file du buffer lent est envoyé aux nœuds n'ayant pas déjà reçu ce message
- En cas de pertes, des rattrapages sont effectués ultérieurement (non détaillé ici pour des contraintes d'espace)

Pour calculer la valeur optimale de T , celle qui maximise le débit total du réseau, nous proposons un algorithme glouton. L'idée principale de notre démarche consiste à obtenir T en calculant la valeur du débit maximal avec le RTT de chacun des récepteurs.

La source trie les RTT dans notre base de données. Puis pour chaque valeur de RTT, elle calcule le débit total du réseau dans le cas où T est égal à ce RTT et tous les autres utilisateurs souffrant d'un délai plus grand sont classés comme lents. Cette boucle nous retourne le RTT qui assure le débit maximal, nous fixons alors T à une valeur légèrement supérieure à ce RTT ($+\epsilon$). A noter ici que la valeur T_{max} dépend du RTT du récepteur le plus lent. En cas de changement de performances du récepteur le plus lent, T_{max} devrait être modifié. En revanche, cela a un impact sur le calcul de T et donc sur la composition des deux groupes, comme montré plus bas.

3 Modélisation analytique du cas bimodal

Dans cette partie nous proposons un modèle simple qui permet d'étudier le comportement de notre protocole. Nous considérons que les récepteurs se partagent naturellement en deux catégories a et b , de sorte que les RTT suivent une loi bimodale $\alpha X_a + (1 - \alpha)X_b$, avec $0 < \alpha < 1$ représentant la proportion de récepteurs rapides. Cela pourrait correspondre à un réseau sans fil exploitant 2 bandes de fréquence ayant chacune des propriétés physiques différentes.

En notant f_a (resp. f_b) la fonction de répartition de X_a (resp. X_b), et en considérant qu'on sert le premier groupe (des rapides) à T et le deuxième groupe (des lents) à T_{max} , le débit total s'écrit :

$$\Phi = \frac{\int_0^T (\alpha f_a(t) + (1 - \alpha)f_b(t))dt}{T} + \frac{\int_T^{T_{max}} (\alpha f_a(t) + (1 - \alpha)f_b(t))dt}{T_{max}} \quad (1)$$

Nous pouvons imaginer plusieurs stratégies pour affecter les récepteurs aux deux groupes. (i) Nous pouvons faire une affectation statique, en mettant tous les récepteurs rapides dans le premier groupe, et tous les récepteurs lents dans le deuxième. (ii) Nous pouvons maximiser le débit du groupe rapide seulement, ce qui peut se produire quand le paramètre T_{max} est fixé a priori à une valeur élevée pour garantir la fiabilité du protocole. (iii) Nous pouvons maximiser le débit total des deux groupes.

Dans le modèle, on considère que f_a (resp. f_b) est une fonction positive, symétrique autour de sa moyenne a (resp. b), de support fini de longueur l , avec $l < a$ (resp. m , avec $b < m$), nulle en dehors de $[a - l, a + l]$ (resp. $[b - m, b + m]$), concave et C2 sur $]a - l, a + l[$ (resp. $]b - m, b + m[$). On s'intéresse au cas de la Figure 1(a) où les deux catégories sont bien séparées (ie. $b > a + l + m$).

Cas (i) : le débit est donné par $\Phi = \frac{\alpha}{a + l} + \frac{1 - \alpha}{b + m}$ et les groupes sont statiques. Dans les cas (ii) et (iii) les groupes sont dynamiques et sont définis par la valeur du seuil T . Dans ces derniers cas, on démontre que T ne peut prendre que deux valeurs possibles. Donnons le résultat dans le cas (ii).

cas(ii) - Maximisation du débit du groupe rapide. Avec les hypothèses ci-dessus, le maximum de débit du groupe rapide est atteint pour seulement deux valeurs possibles de T : $T = t_a$ ou $T = \theta_b$. t_a est l'unique solution dans $[a, a + l]$ de $tf_a(t) - \int_0^t f_a(t)dt = 0$ et représente la valeur de débit maximum pour les récepteurs rapides seuls ; θ_b est l'unique solution dans $[b, b + m]$ de $tf_b(t) - \int_0^t f_b(t)dt = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ et correspond à la maximisation du débit des lents. Si $t = t_a$, le premier groupe ne contient que des récepteurs rapides, et si $t = \theta_b$, c'est le second groupe qui ne contient que des lents.

De plus, en posant $\alpha_{min} = \min\left(\frac{bf_b(b) - 1/2}{bf_b(b) + 1/2}, \frac{f_b(\theta_b)}{f_b(\theta_b) + f_a(t_a)}\right)$, on peut affirmer que si $\alpha > \alpha_{min}$, $t = t_a$, ce qui veut dire lorsqu'il y a une proportion suffisante de récepteurs rapides, alors le premier groupe ne contient que des rapides.

cas(iii) - Maximisation du débit total. La même tendance s'observe dans le cas (iii) que dans le cas (ii), à savoir qu'il n'existe également que deux valeurs possibles pour le seuil T . Ce résultat est obtenu de la même manière que dans le cas (ii), en introduisant la fonction $\phi(t) = \int_0^t f_b(t)dt(1 - \frac{t}{b + m})$ qui joue le rôle de $\int_0^t f_b(t)dt$. Dans ce cas la présence non nulle du débit apporté par les récepteurs lents conduit à des valeurs de t'_a et θ'_b inférieures à t_a et θ_b respectivement.

En conséquence, en comparant les valeurs de seuils α_{min} pour les deux cas (ii) et (iii), nous nous apercevons que la prise en compte du débit des récepteurs lents permet le maintien de groupes rapides homogènes pour des valeurs de α plus faibles. En d'autres termes, la maximisation du débit total (iii) est moins sensible à la diminution de la proportion de récepteurs rapides. C'est ce que nous vérifions pour le protocole dans la section suivante.

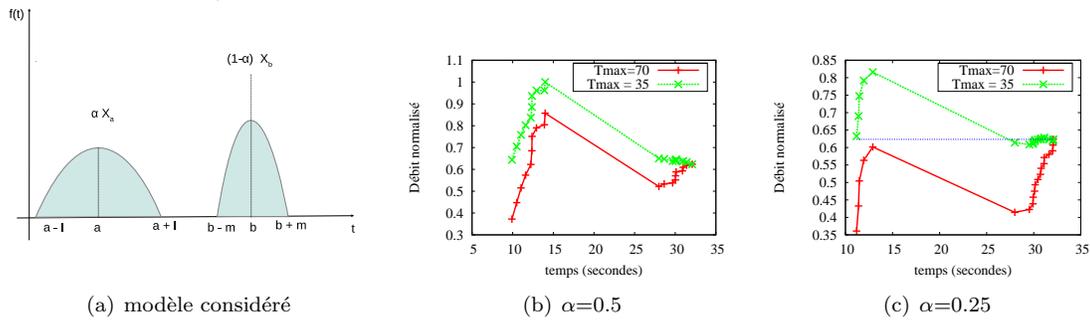


Figure 1: Modèle considéré et impact de T_{max} sur la proportion des rapides, α .

4 Validations numériques

Nous validons notre modélisation à l'aide de résultats numériques issus de l'implémentation de l'algorithme de calcul de T de notre protocole. Dans nos simulations nous avons représenté la distribution des retours des acquittements des différents récepteurs par une loi normale $N(\tau, \sigma^2)$. Plus précisément, nous avons généré des arrivées d'ACK à la source suivant 2 lois normales possédant chacune une espérance τ différente. Nous comparons en particulier ici, les cas (ii) où T_{max} est grand (fixé à 70 pour représenter l'infini), c'est à dire une maximisation du débit du premier groupe au cas (iii) où T_{max} est fixée de façon à maximiser le débit total du réseau.

Les Figures 1(b) et 1(c), montrent le cas de 2 distributions normales de RTT avec $N(12, 1)$ et $N(30, 1)$. Dans 1(b) la proportion de récepteurs dans le groupe rapide est fixée à 50% tandis que dans 1(c) 25% des récepteurs seulement font partie du premier groupe. Ces courbes corroborent les résultats de notre modèle qui montre que le cas (iii) est moins sensible à la proportion de récepteurs rapides dans sa maximisation du débit. En effet en réduisant α , une valeur de T qui maximise le débit total se situe a la fin du premier groupe même quand T_{max} est fini mais à la fin du second groupe pour T_{max} infini (1(c)). Pour $\alpha=0.5$ (1(b)), T_{max} n'a pas d'impact sur la répartition des groupes. Ce résultat montre l'importance de l'optimisation de la valeur de T_{max} qui en plus d'être un paramètre de fiabilité du protocole, joue un rôle important dans la maximisation du débit de l'émetteur.

5 Conclusion

Nous avons présenté un protocole de transport point à multipoint pour réseaux sans fil multi-bandes. Notre protocole transmet à un débit adéquat à chaque récepteur tout en optimisant l'utilisation de la bande passante. Pour ce faire, nous créons 2 groupes d'utilisateurs et optimisons conjointement le débit de chacun des groupes. Nous avons analysé les performances de notre protocole analytiquement puis par validation numérique. Nous avons montré qu'il est adapté aux réseaux sans fil multi-bandes tel que les réseaux radio cognitive. Dans le futur nous souhaitons étudier l'extension de notre protocole pour optimiser le débit avec N groupes de récepteurs.

Références

- [BCHH09] B.Adamson, C.Bormann, M. Handley, and M. Handley. Nack-oriented reliable multicast (norm) transport protocol. *RFC 5740.*, 2009.
- [CFA09] KR Chowdhury, M Di Felice, and IF Akyildiz. Tp-crahn : A transport protocol for cognitive radio ad-hoc networks. In *IEEE infocom conf*, 2009.
- [GJ03] G.Kwon and J.Byers. Smooth multirate multicast congestion control. In *IEEE infocom conf*, 2003.
- [JGM⁺02] J.Byers, G.Horn, M.Luby, M.Mitzenmacher, and W.Shaver. Flidld : Congestion control for layered multicast. *IEEE Journal of Selected Areas in Communication (JSAC)*, 2002.
- [SN10] D Sarkar and H Narayan. Transport layer protocols for cognitive networks. In *IEEE infocom workshops*, 2010.