

Une méthode d'accès multi-canaux équitable pour réseaux ad hoc *

Fanilo Harivelo et Pascal Anelli
IREMIA, Université de La Réunion
BP 7151, 15 Avenue R. Cassin
97715 Saint Denis Messag 9, France

{Fanilo.Harivelo | Pascal.Anelli}@univ-reunion.fr

RESUME

L'utilisation de la méthode d'accès IEEE 802.11 en mode ad hoc pose des problèmes de performances. L'accès au support d'un mobile dépend entre autre de sa situation géographique par rapport aux autres mobiles du réseau ad hoc. La solution proposée s'inscrit dans l'approche multi-canal pour la méthode d'accès au support mais en diffère par l'objectif recherché qui porte sur l'équité d'accès. Cette article présente une méthode d'accès pour réseau ad hoc étendant la norme IEEE 802.11 avec une approche multi-canal. Les évaluations menées de la solution proposée avec le simulateur NS-2 montrent son efficacité.

Mots clefs

Réseau ad hoc, 802.11, Méthode d'accès, multi-canaux, équité

ABSTRACT

The use of IEEE 802.11 access method in ad hoc networks leads to performance anomalies. The relative location of nodes affects nodes medium access. The proposed solution is of multi-channel approach-type. This paper introduces an access method extending IEEE 802.11 with a multi-channel approach. Its evaluation under NS-2 simulator shows its efficiency.

Categories and Subject Descriptors

C.2.5 [Local and Wide-Area Networks]: Access schemes

General Terms

Fairness, Ad hoc networks

Keywords

Ad hoc Network, 802.11, Access method, multi-channel, Fairness

*Ce travail a été financé en partie par la Région Réunion

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

UbiMob '06, September 5-8, 2006, Paris, France
Copyright 2006 ACM 1-59593-467-7/06/0009?\$5.00.

1. INTRODUCTION

La mobilité adjointe au besoin de connectivité entre les terminaux portables ont conduit à un développement important des réseaux sans fil. Ils reposent actuellement sur la technologie IEEE 802.11. La particularité de ces réseaux est leur capacité à fonctionner dans un environnement avec ou sans infrastructure fixe. Dans ce dernier cas, on parle alors de réseau ad hoc ou spontané. Cependant, leur caractère dynamique pose des nouveaux problèmes au niveau du partage de l'accès au support qui se traduisent par des performances dégradés. L'approche courante pour accroître les performances du réseau repose sur l'utilisation de différents canaux de communication pour coordonner l'accès au support (cf. section 5). Ces méthodes résolvent les problèmes de station cachée et de station exposée et des collisions répétitives entre les nœuds. Cependant, la problématique de l'inéquité à l'accès au support demeure. En effet, il est démontré [1] que des problèmes d'inéquité apparaissent sous certaines situations dans l'utilisation de la méthode d'accès DCF (*Distribution Coordination Function*) de 802.11 dans les réseaux ad hoc. Dans certaines configurations, le partage du support n'est plus déterminé uniquement par les conditions de trafic mais aussi par la position relative des nœuds. Il devient alors très difficile d'assurer un contrôle des ressources dans de telles situations. L'équité d'accès devient alors un enjeu car l'obtenir signifie que le partage ne dépend plus que des conditions de trafic. Le présent document présente une méthode d'accès multi-canaux équitable appelée FWM (*Fair Wireless MAC*) pour les réseaux ad hoc. L'analyse présentée montre que l'inéquité d'accès entre les nœuds voisins provient d'une méconnaissance de leur état et la différence entre les instants de démarrage de leur procédure d'accès au support. La solution proposée consiste à ajouter à la méthode d'accès 802.11 DCF, un canal de signalisation et deux types de signaux pour synchroniser les nœuds adjacents du réseau les uns par rapport aux autres.

La suite de cet article est organisée de la manière suivante : la section 2 identifie les causes de l'accès inéquitable de DCF dans les réseaux ad hoc suite à une analyse des scénarios caractéristiques ; la section 3 présente une solution propre à résoudre les problèmes d'inéquité mis en évidence ; la section 4 évalue la solution proposée ; la section 5 met en perspective ce travail par rapport aux études des autres méthodes d'accès multi-canaux.

2. LES CAUSES D'INÉQUITÉ

La méthode d'accès DCF se base sur le principe de CSMA/CA afin de résoudre la contention pour l'accès au support. Ce principe consiste à déterminer l'activité du canal par son écoute. Un nœud souhaitant émettre une trame, vérifie que le canal est resté inoccupé pendant une période au moins égale à un délai appelé DIFS (*DCF Inter Frame Space*). Si le canal est occupé, le nœud retarde sa transmission d'une durée aléatoire appelée délai de *backoff* jusqu'à ce que le support redevienne libre pendant une durée de DIFS. Ce délai est décrémenté tant que le canal est inoccupé et arrêté dès que celui redevient actif. Quand le délai de *backoff* a atteint la valeur nulle, le nœud peut entamer sa transmission. Le tirage aléatoire du *backoff* est effectué dans un intervalle appelé fenêtre de contention (CW : *Contention Window*) dont la taille est doublée à chaque tentative infructueuse. Une fois la trame émise et le délai SIFS (*Short Inter Frame Space*) écoulé, l'émetteur doit recevoir une trame d'acquiescement positif (ACK). Autrement, la trame de données émise est considérée comme perdue, le nombre de tentative est incrémenté et la procédure de *backoff* est reprise. Quand un nœud reçoit une trame qu'il ne peut décoder, il se met en retrait pour une période dite EIFS (*Extended Inter-Frame Space* $\simeq 7$ DIFS) afin de ne pas interférer dans la transmission en cours.

Sur un réseau sans fil, un signal peut être reçu sans pour autant être décodé au niveau trame, du fait de l'atténuation. Ce cas définit une zone de détection dont la portée est notée r_s . La zone de transmission correspond à une réception correcte de la trame dont la portée est notée r_t ($r_s > r_t$).

L'analyse des causes d'inéquité s'effectue sur des scénarios caractéristiques représentés sur la figure 1. Le scénario 1(a) montre une organisation de réseau en 3 paires de nœuds qui illustre une situation de contention déséquilibrée dans laquelle l'émetteur de la paire centrale a un niveau de contention plus important que les deux autres émetteurs. Le nœud S_1 attend à la fois une inactivité de S_0 et S_2 pour acquérir le support. La figure 1(b) présente le problème bien connu de la station cachée dans lequel la réception du flot 0 est perturbée par la transmission du flot 1 par le nœud S_1 qui n'a aucune connaissance de l'existence du flot 0. Le scénario 1(c) présente le problème de l'EIFS dans lequel le nœud S_1 retarde la plupart du temps sa transmission d'un délai EIFS, du fait de son incapacité à décoder les ACKs venant de D_0 . En effet, le nœud D_0 se trouve dans la zone d'écoute du nœud S_1 mais hors de sa zone de transmission. Les deux premiers problèmes (Fig. 1(a) et (b)) se résument à une méconnaissance de l'état du voisinage. La transmission en cours définit l'état d'un nœud. Il se trouve dans un état d'émission lorsqu'il transmet une trame, dans un état de réception lorsqu'il reçoit une trame, même si celle-ci ne lui est pas destinée. Le nœud est inactif en l'absence de transmission. Comme la méthode d'accès repose sur l'écoute du support, les voisins d'un nœud ont connaissance de son état d'émission. Par contre, les voisins ne sont pas nécessairement au courant de l'état du nœud lorsque celui-ci est dans un état de réception. Dans Fig. 1(a), le nœud S_0 n'est pas informé de l'occupation du nœud S_1 due à la transmission venant du nœud S_2 , et réciproquement. Dans Fig. 1(b), le nœud S_1 n'est pas averti de la réception du flot 0 par le nœud D_0 . Ainsi, la cause de l'inéquité de ces 2 premiers scénarios provient bien de la méconnaissance de l'état du voisinage. Dans le cas du scénario 1(c), le problème

provient de la différence entre les instants de démarrage de la procédure de *backoff*. En effet, le nœud I_{01} accède plus souvent au support comparé au nœud S_0 comme celui-ci se trouve continuellement dans la phase d'attente EIFS.

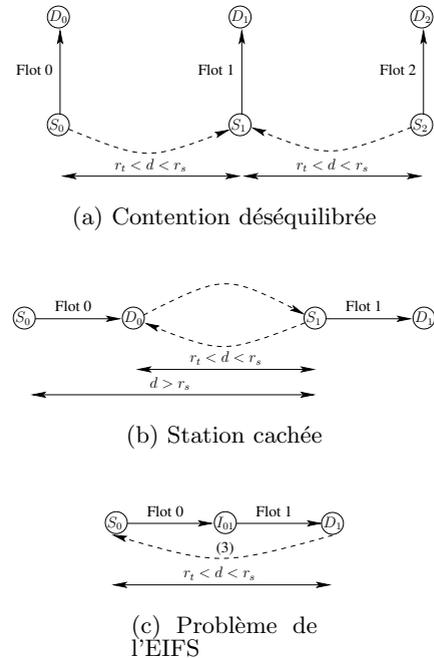


Figure 1: Les scénarios d'accès inéquitable

L'évaluation de l'équité à l'accès est mesurée au travers du débit écoulé par chaque source de flot. Tous les flots sont identiques et sont émis à un débit constant équivalent à celui du support. Au niveau du récepteur, l'effet de capture du canal est inexistant. Les résultats avec le simulateur NS-2 sont représentés dans la table 1. Ils corroborent l'analyse présentée. Dans les scénarios 1(a) et 1(b), les flots pénalisés, respectivement, le flot 1 et le flot 0, sont quasiment inexistantes. La situation est meilleure pour le flot 0 dans le scénario 1(c), cependant, l'inéquité subsiste.

3. UNE MÉTHODE D'ACCÈS ÉQUITABLE

Comme identifiées dans la section précédente, les deux causes d'inéquité sur l'utilisation de DCF sur réseaux ad hoc portent sur la méconnaissance de l'état du voisinage et la différence entre les instants de démarrage de la procédure de *backoff*. Elles sont indépendantes, l'une de l'autre et peuvent exister simultanément dans certaines situations.

Les problèmes de station cachée et de contention déséquilibrée n'apparaissent pas si l'état de réception de chaque nœud est connu de son voisinage, afin que les émetteurs concernés considèrent cette information dans l'exécution de leur procédure d'accès au support. Ainsi, la diffusion de l'état de réception de chaque nœud constitue une solution évidente pour résoudre ces problèmes. Le mécanisme RTS/CTS met en œuvre ce principe par une solution temporelle basée sur la diffusion du délai de la communication dans des trames de contrôle, RTS et CTS, respectivement par l'émetteur et le récepteur

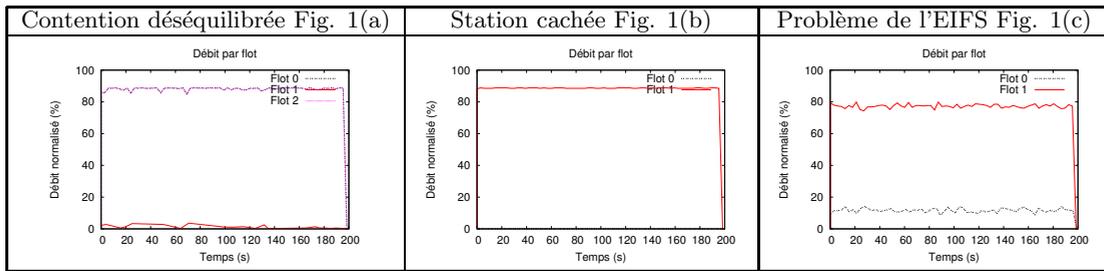


Table 1: Répartition des débits en DCF classique

à destination de leurs voisins. Les nœuds, en recevant cette information, vont se mettre en attente pendant toute la durée annoncée. Toutefois, l'application de ce mécanisme est limitée par la capacité de décodage des trames. Comme la portée d'écoute est supérieure à la portée de transmission, une trame reçue est susceptible de ne pas être décodée, rendant ainsi, le mécanisme de réservation inefficace. Dans Fig. 1(b), le nœud S_1 ne parvient pas à interpréter la trame CTS émis par le nœud D_0 . Ainsi, la détermination de l'état de réception d'un nœud doit s'effectuer sur un signal plus simple qui sera présent pendant toute la durée de la communication. Comme la transmission de ce signal ne peut s'opérer sur le canal utilisé par l'émetteur, un autre canal se révèle nécessaire. Ainsi, cette approche s'inscrit sur une base spatiale contrairement à un mécanisme de type RTS/CTS ; la synchronisation est réalisée au niveau physique. Le canal supplémentaire se rapporte à une signalisation hors-bande et est exploité selon un mode *busy tone* ou tonalité d'occupation (absence ou existence de signal). Ainsi un nœud continue d'émettre un signal sur le canal de signalisation tant qu'il est en réception sur le canal principal (même s'il n'est pas la destination de la communication) et s'arrête de signaler quand le canal principal redevient libre. L'intégration de cette fonctionnalité dans 802.11 DCF demande : (1) l'introduction d'un canal de signalisation où la transmission est de type tonalité d'occupation et (2) une nouvelle condition pour la détection de la porteuse. Un nœud considère le support comme libre si les 2 canaux sont libres.

Dans la configuration de réseau ad hoc, le problème de l'EIFS cause une différence du temps d'attente entre les émetteurs. La solution consiste à égaliser les temps d'attente. Il y a deux façons de procéder : (1) empêcher que l'EIFS s'active ou (2) activer l'EIFS pour tous les nœuds en compétition dès qu'un nœud a activé son EIFS. L'existence même du délai EIFS peut être remise en question. Dans le contexte d'un canal de signalisation destiné au récepteur d'une communication pour synchroniser l'état de réception, il apparaît redondant d'ajouter le délai EIFS pour la resynchronisation dans la mesure qu'il n'y a plus de-désynchronisation possible. Cependant, des analyses dans [3] ont montré que la solution consistant à supprimer purement et simplement l'EIFS n'est pas valable. Il faut donc garder le mécanisme d'EIFS pour équilibrer les attentes. La seconde approche consiste à synchroniser tous les nœuds sur l'activation de l'EIFS. Un signal de synchronisation est émis quand il y a une activation d'un EIFS. La réalisation du signal au niveau physique peut être soit une fréquence dédiée, ou soit un signal dans le canal de signalisation dont le type est indiqué par sa durée. Quoi qu'il

en soit, le signal EIFS vise à déclencher l'EIFS dans tous les nœuds qui le recevraient. A noter que ce signal n'a pas besoin d'être émis en continu mais serait de type impulsion. Le cas de la station cachée constitue un cas particulier dans le principe précédent. Les émetteurs ne sont pas à portée des uns, des autres. Pour traiter cette situation, la procédure suivante est adoptée : quand un nœud termine une transmission et qu'il reçoit ensuite quasi immédiatement un signal EIFS, il en déduit qu'il est à l'origine de l'activation de l'EIFS et il relaie le signal pour activer l'EIFS aux émetteurs voisins.

En somme, l'intégration de la présente proposition (dite FWM) dans 802.11 demande : (1) la diffusion d'un signal sur un canal indépendant de celui qui est utilisé pour la transmission de données ; (2) l'activation de la période d'attente EIFS pas uniquement à réception d'une trame en erreur mais également sur un signal explicite ; (3) la capacité d'un nœud de relayer un signal EIFS dans le canal de signalisation quand il vient de terminer une transmission.

4. EVALUATIONS

L'évaluation de la proposition FWM est représentée dans la table 2. L'inéquité a disparu entre les flots. Le débit total écoulé diminue plus ou moins en fonction du scénario et pour des raisons différentes. Dans la situation de la contention déséquilibrée, le débit total chute de 50 %. Il est évident de voir qu'avec DCF d'origine, les 2 nœuds de coté peuvent émettre en même temps et le nœud central ne peut exercer aucune activité. La situation revient en quelque sorte à avoir deux liens. Avec la nouvelle méthode, les deux liens sont ramenés à un seul lien. Le débit total écoulé chute logiquement de moitié. Le compromis entre équité et efficacité n'est pas nouveau. Nous en avons ici une autre forme d'illustration.

5. AUTRES SOLUTIONS MULTI-CANAU

Les différentes solutions consistant à utiliser un support multi-canaux traitent du problème de performance.

Une première classe de propositions requiert l'utilisation d'un canal de contrôle partagé. Afin d'éviter les collisions entre les paquets de contrôle et les paquets de données, [7] répartit les différents types de paquets sur deux canaux séparés. Le problème de station cachée est résolu par l'utilisation d'une signalisation par tonalité d'occupation. Dans DCA (*Dynamic Channel Assignment*) [5], la bande passante est divisée en un canal de contrôle et plusieurs canaux de données. Chaque nœud dispose de deux interfaces réseaux. L'une correspond au canal de contrôle et l'autre, servira à la transmis-

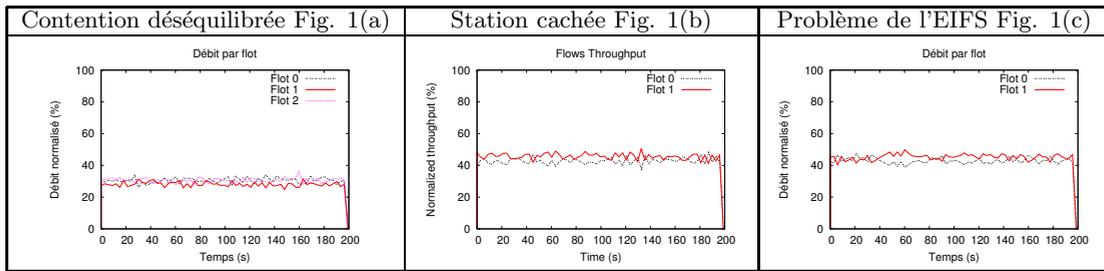


Table 2: Répartition des débits avec FWM

sion des données. La résolution de la contention et l'allocation des canaux sont réalisées par un échange RTS/CTS/RES. Un émetteur souhaitant communiquer avec un récepteur, envoie un RTS avec la liste des canaux disponibles dans son voisinage. Le récepteur prend un canal dans la liste et informe l'émetteur, en même temps que ses voisins, de son choix par l'émission d'un CTS. Le récepteur, en recevant le canal sélectionne va le diffuser à ses voisins avec un paquet RES. DBTMA (*Dual Busy Tone Multiple Access*) [2] s'intéresse aux problèmes de station cachée et station exposée. La solution consiste à coupler RTS/CTS avec deux canaux de signalisation exploités en mode *busy tone*. L'émetteur génère un signal d'occupation sur le premier canal lorsqu'il envoie un RTS tandis que le récepteur émet sur le second signal à la réception d'un RTS ou d'un paquet de données. DBTMA ne prévoit aucun mécanisme d'ACK.

La seconde classe de propositions s'affranchit de canal de contrôle partagé et divise la bande passante en deux canaux. Un nœud dispose de deux interfaces: une par canal. Une source transmet RTS/Data sur un canal et reçoit CTS/ACK sur l'autre canal. L'objectif de ICSMA (*Interleaved Carrier Sense Multiple Access*) [4] consiste à atténuer les effets des stations exposées. Un voisin de la communication détermine les contraintes qui lui sont imposées par la communication en cours en écoutant sur les deux canaux. Par exemple, la détection d'un RTS sur un des canaux et la non réception d'un CTS signifient que le nœud est contraint en réception par l'émetteur, et ne peut donc recevoir de données. Par contre, la transmission vers un récepteur reste possible. JMAC (*Jamming-based MAC*) [6] propose une solution aux problèmes de la station cachée et de la réservation erronée, à savoir celle qui est faite dans le voisinage de l'émetteur avec l'envoi d'un RTS, mais inutilisée du fait de la non réception de CTS. Lorsque l'émetteur est en attente ou en réception d'un CTS/ACK suite à l'envoi d'un RTS/Data sur un canal, il génère une séquence de brouillage sur l'autre canal. Le récepteur procède de la même manière à la réception ou à l'attente d'un RTS/Data.

Les approches présentées se focalisent sur la performance même en traitant notamment le problème de la station cachée. Les aspects liés à l'équité d'accès ne sont pas étudiés. Les causes d'inéquité mentionnées dans les sections précédentes sont toujours susceptibles d'apparaître sur un canal.

6. CONCLUSION

Ce document présente une nouvelle méthode d'accès multi-canaux équitable pour réseaux ad hoc basée sur 802.11.

Le partage des ressources sur un réseau ad hoc dépend à la fois du trafic des nœuds mais également de leur position relative, les uns par rapport aux autres. L'analyse effectuée révèle deux sources d'inéquité : la méconnaissance de l'état du voisinage et la différence entre les instants de démarrage de la procédure de *backoff*. La solution proposée (dite FWM) consiste à propager l'état de réception d'un nœud et à équilibrer les durées d'attente des nœuds. Ceci est réalisé au moyen d'un canal de signalisation exploité selon un mode tonalité d'occupation. Ce canal est combiné avec la méthode d'accès 802.11 afin de fournir l'équité. Les évaluations effectuées sous NS-2 montrent que l'objectif d'équité est atteint. Les principaux avantages de FWM concernent sa simplicité et sa compatibilité avec la méthode d'accès 802.11 DCF. Inversement, FWM amène dans certaines situations (comme le cas de la contention déséquilibrée) à une diminution de la bande passante totale. En effet, l'efficacité est souvent sacrifiée pour parvenir à l'équité.

7. REFERENCES

- [1] C. Chaudet and D. D. I. G. Lassous. Performance Issues with IEEE 802.11 in Ad Hoc Networking. *IEEE Communications Magazine*, 43(7), July 2005.
- [2] Z. J. Haas and J. Deng. Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA)-A Multiple Access Control Scheme for Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Communications*, 50(6):975–985, 2002.
- [3] F. Harivelo and P. Anelli. A Simple Fair Wireless Medium Access for 802.11-based Ad Hoc Networks. Technical report, 0601-1, IREMI, Université de La Réunion, France, April, 10 2006.
- [4] S. Jagadeesan, B. S. Manoj, and C. S. R. Murthy. Interleaved Carrier Sense Multiple Access: An Efficient MAC Protocol for Ad hoc Wireless Networks. In *ICC*, 2003.
- [5] S.-L. Wu, C.-Y. Lin, Y.-C. Tseng, and J.-P. Sheu. A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks. *ISPAN, USA*, 12(7):232–237, 2000.
- [6] S.-R. Ye, Y.-C. Wang, and Y.-C. Tseng. A Jamming-Based MAC Protocol to Improve the Performance of Wireless Multihop Ad Hoc Networks. *WCMC*, 4(1):75–84, February 2004.
- [7] H. Zhai, J. Wang, Y. Fang, and D. Wu. A Dual-Channel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE WWASN, USA*, November 2004.