

Analyse des performances de la méthode de négociation adaptative de la session Block Acknowledgment pour le standard IEEE 802.11ax

Kaoutar ABDELALIM^{1,2}, Getachew REDIETEAB¹, Sandrine DESTOUET ROBLOT¹, Karine AMIS²

¹Orange Labs

4 Rue du Clos Courtel, 35510 Cesson-Sévigné, France

²IMT Atlantique

655 Avenue du Technopôle, 29280 Plouzané, France

kaoutar.abdelalim@orange.com, getachew.redieteab@orange.com

sandrine.robplot@orange.com, karine.amis@imt-atlantique.fr

Résumé – L’acquittement groupé des trames de données par le biais du bloc d’acquittement (BA) a permis l’amélioration de l’efficacité des transmissions au sein des réseaux sans fil. Néanmoins, le mécanisme BA intègre plusieurs trames de gestion qui peuvent encombrer le réseau notamment en environnement dense. Afin de minimiser cette congestion, nous avons proposé une nouvelle méthode de négociation adaptative de la session d’acquittement par bloc (AN-BA)[8]. Dans cet article, la simulation d’un réseau utilisant l’AN-BA montre qu’il est plus performant en termes de débit et de délai de transmission qu’un réseau utilisant le BA classique.

Abstract – Acknowledging a group of data frames at once via the block acknowledgment (BA) has improved the efficiency of transmissions within wireless networks. However, the BA channel access integrates several management frames that can congest the network, especially in a dense environment. In order to minimize this congestion, we have proposed a new method of adaptive negotiation of the block acknowledgment session (AN-BA)[8]. In this paper, simulation results show that a network using the AN-BA method performs better than one using the classical BA, both in terms of throughput and transmission delay.

1 Introduction

L’émergence continue de nouvelles applications sans fil conjuguée à la concentration du nombre d’utilisateurs dans certaines zones (aéroports, stades, ...) impose d’améliorer les techniques et protocoles existants du *Wireless-Fidelity* (Wi-Fi) déployé dans de tels environnements. Depuis son lancement en 1999, les évolutions successives de la norme des réseaux sans fil IEEE 802.11 [1] ont œuvré à l’amélioration de la qualité et des performances des réseaux en se focalisant sur les protocoles des couches physique (PHY) et liaisons de données (MAC : *Medium Access Control*). Dans la même perspective, le dernier standard IEEE 802.11ax [2], évolution des IEEE 802.11n [4] et ac [5], se concentre sur l’amélioration des performances des réseaux denses. Il apporte de nouvelles techniques à la norme Wi-Fi tout en maintenant la rétrocompatibilité avec les standards précédents, entre autres 802.11a/n/ac [3][4][5]. Ces nouveautés, parmi lesquelles le *spatial reuse*, le *Basic Service Set* (BSS) *coloring* ou encore l’utilisation de l’*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), ont permis d’atteindre de meilleurs débits en environnement dense. Le standard a également conservé plusieurs mécanismes des amendements précédents dont celui d’acquittement par bloc (BA), objet de la présente contribution. Proposé par le standard IEEE 802.11e [6], le BA assure une meilleure qualité de service (QoS) des trans-

missions sans fil comparé à l’acquittement basique (ACK) [7]. Néanmoins, il peut s’avérer limitant en environnement dense du fait de la série de trames de contrôle qu’il requiert. Afin de minimiser cette surcharge et améliorer à la fois le débit et le retard des transmissions, nous avons proposé une méthode de négociation adaptative de la session d’acquittement par bloc (AN-BA)[8]. Il s’agit d’une optimisation du BA qui s’affranchit des trames de contrôle dédiées pour les remplacer par deux bits inscrits dans les trames de données.

La technique a été évaluée dans un contexte d’échange de données en *File Transfer Protocol* (FTP) selon le standard IEEE 802.11ac. Nous avons obtenu de meilleures performances que le BA en environnement faiblement ou fortement dense : perte de paquets moindre, retard total plus court et débit plus grand [8].

Dans cet article, nous comparons les performances des deux mécanismes en considérant l’échange continu d’un maximum de données (désigné par *full-buffer*) dans le cadre du dernier standard IEEE 802.11ax et en exploitant des scénarios de moyenne densité.

L’article est organisé de la manière suivante. La Section 2 présente le BA classique. La Section 3 décrit la négociation adaptative nouvellement proposée pour les sessions BA. La Section 4 illustre les résultats comparatifs des deux mécanismes. La Section 5 conclut l’article et propose des pistes d’évolution.

2 Block Acknowledgment

2.1 La session du Bloc d'Acquittement

Afin d'améliorer la QoS des réseaux sans fil, le standard IEEE 802.11e intègre plusieurs techniques. Il introduit notamment le mécanisme BA qui est l'une des contributions les plus importantes de ce standard. Il permet de notifier la réception de plusieurs trames de données au lieu de les acquitter une par une à travers une trame d'acquiescement ACK. Comparé à un acquiescement individuel, le BA permet ainsi d'augmenter l'efficacité des transmissions des données dans un réseau, notamment pour un grand nombre d'utilisateurs échangeant un trafic de données important. L'établissement d'une session BA repose sur trois étapes indispensables. La figure 1 représente le déroulement de la négociation de la session BA.

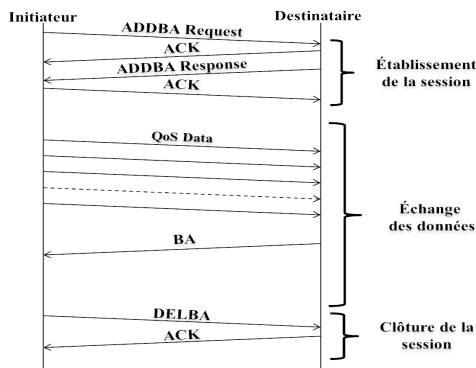


FIGURE 1 – Mécanisme d'acquiescement par bloc

2.1.1 Établissement de la session

Lors de la première étape, l'initiateur envoie une requête d'établissement de la session BA par le biais d'un échange de trames *Add BA Request/Response* (ADDDBA Request/Response) et leurs ACK. Elles contiennent les informations utiles au transfert des données : un identifiant de trafic (TID) signalant la catégorie d'accès de la session en cours de négociation, la politique BA adoptée et la taille maximale du bloc de données (*buffer*). Le destinataire peut rejeter l'établissement de la session s'il ne peut pas gérer la politique BA demandée. Il définit également la taille maximale du bloc de trames de données. Par ailleurs, les deux parties peuvent négocier l'utilisation ou non, de l'agrégation de trames de données *Aggregate MAC Service Data Unit* (A-MSDU), via un sous-champ inclus dans l'ADDDBA Request et l'ADDDBA Response. Une fois l'ADDDBA Request correctement reçu, le destinataire notifie sa réception par un ACK et envoie en retour un ADDDBA Response. L'initiateur répond par un ACK pour confirmer la bonne réception de l'ADDDBA Response. L'acceptation ou le refus de la session est inclus dans la trame ADDDBA Response. Si le délai d'inactivité (également négocié pendant l'échange) est atteint, la session est jugée implicitement terminée.

2.1.2 Échange des données

L'échange des données commence une fois que la session BA est établie. L'initiateur peut alors transmettre ses blocs de QoS data séparés d'un *Short Inter Frame Space* (SIFS) ou formant une trame *Aggregate MPDU* (A-MPDU). Chaque bloc ne dépassera pas la taille maximale négociée au préalable. Pour acquiescer ces données, le destinataire configure une *bitmap* (sur 64 bits), renseignant le succès ou l'échec de réception des MPDU, ainsi que le numéro de séquence pris comme référence. Cette *bitmap* sera envoyée via le BA.

2.1.3 Clôture de la session

Une fois que toutes les données sont envoyées et que l'initiateur ne planifie plus d'envoi, l'une des deux parties peut demander la clôture de la session par la transmission d'une trame *Delete BA* (DELBA). Une fois que celle-ci est acquiescée, la fermeture de la session BA prend effet.

2.2 Limitations de la session BA

Comme on peut le constater, la session du BA inclut plusieurs trames de contrôle pouvant être encombrantes notamment en présence d'un grand nombre d'utilisateurs. La négociation du BA avec chaque utilisateur engendre une surcharge du réseau provoquant ainsi une latence des transmissions. Chaque modification de la taille du *buffer* requiert également la mise en place du même processus. Cela ne peut qu'affecter les performances du réseau y compris le débit total. Pour optimiser le mécanisme d'acquiescement par bloc, nous avons proposé la méthode de négociation adaptative de la session d'acquiescement par bloc (AN-BA). Les trames de négociation (ADDDBA Request/Response, DELBA) y sont remplacées par deux bits de contrôle insérés au niveau des QoS Data et des trames d'acquiescement (ACK, BA). L'information d'établissement de session BA, de configuration de la taille maximale du *buffer* ou de clôture de session est signalée par ces bits. La méthode AN-BA est détaillée dans la Section 3.

3 La négociation adaptative de la session de Block Acknowledgment

3.1 Principe de fonctionnement

L'AN-BA optimise le mécanisme d'acquiescement par bloc en négociant la session BA par le biais de deux bits de contrôle, notés b_1 et b_0 du côté de l'initiateur et b'_1 et b'_0 du côté du destinataire. Insérés dans les trames QoS Data (pour les premiers), BA ou ACK (pour les seconds), ces deux bits transportent les informations relatives aux demandes de l'initiateur et du destinataire. L'AN-BA repose également sur trois phases explicitées ci-après et illustrées sur la figure 2.

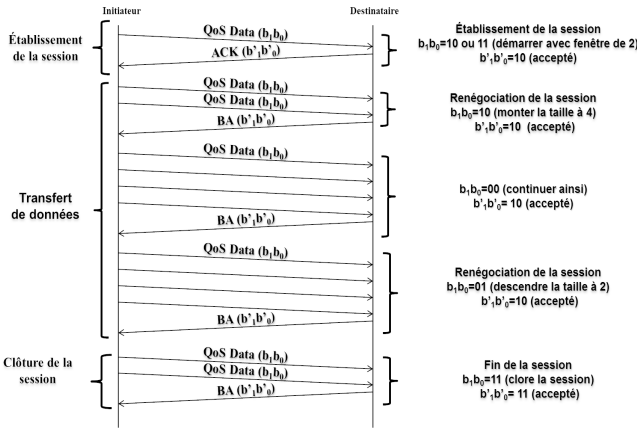


FIGURE 2 – Exemple d'établissement de la session d'acquittement par bloc sous l'AN-BA

3.1.1 Établissement de la session

Afin de créer la session BA, une première trame QoS Data comportant les deux bits de contrôle est envoyée, remplaçant les trames de contrôle ADDBA Request/Response. Cette demande peut être acceptée ou refusée par le destinataire à travers les deux bits de contrôle (i.e. b'_1 et b'_0) insérés dans la trame ACK consécutive au QoS Data. L'initiateur entame l'envoi des trames QoS Data dès que la session BA est acceptée. La Table 1 liste les différents états possibles des bits de contrôle pour l'initiateur et le destinataire.

TABLE 1 – Les différents états des bits de contrôle

Phase	Initiateur		Destinataire	
	b_1	b_0	b'_1	b'_0
Établissement de la session	0	0	Ne rien faire / Ne rien faire /	
	0	1	Temporiser la réponse	
	1	0	Refuser la demande actuelle	
	1	1	Accepter la demande	
Régime établi	0	0	Refuser car configuration non compatible	
	0	1	Demande de réduction	
	1	0	Temporiser si augmentation /	
	1	0	Temporiser si réduction	
	1	1	Accepter la modification	
	1	1	Demande de clôture session	

La négociation de la taille maximale du *buffer* est assurée par l'AN-BA à partir de l'état des deux bits de contrôle. Au cours de la session, l'initiateur peut réclamer une augmentation ou une diminution du nombre maximum de QoS Data envoyés par bloc. Le destinataire accepte ou refuse la requête reçue.

La figure 2 illustre un exemple de la procédure AN-BA :

- L'expéditeur initie la demande d'établissement de la session BA à travers une première trame QoS Data portant les bits b_1 et b_0 .
- Selon l'état des deux bits, le destinataire identifie la configuration à adopter pour la session : $b_1 b_0 = 11$ pour des données agrégées, ou $b_1 b_0 = 10$ le cas échéant.
- Ce dernier renvoie un ACK avec $b'_1 b'_0 = 10$ pour accepter la session, ou avec $b'_1 b'_0 = 01$ ou 11 pour la refuser. En cas d'acceptation, les données sont envoyées selon la configuration et la taille maximale négociée.
- L'initiateur peut à tout moment réclamer un changement de la taille maximale des QoS Data envoyées.

3.1.2 Régime établi

En régime établi, les bits de contrôle sont positionnés à $b_1 b_0 = 10$ pour doubler la taille maximale du *buffer* ou à $b_1 b_0 = 01$ pour la réduire de moitié. Le destinataire envoie sa décision d'acceptation ou de refus à travers les deux bits insérés dans le BA servant également à acquitter les QoS Data reçus. Si le destinataire accepte, l'initiateur renvoie un bloc de QoS data selon la nouvelle taille négociée. Dans le cas contraire, le *buffer* garde la même taille. Etant donné que la taille maximale du *buffer* est limitée, le récepteur peut aussi réclamer la réduction de sa taille en fixant les deux bits de contrôle à $b_1 b_0 = 00$. L'initiateur pourra ainsi diminuer la taille maximale des QoS Data envoyées.

3.1.3 Clôture de la session

Le destinataire peut réclamer la fermeture de la session à travers le dernier BA envoyé. L'initiateur prend en compte sa requête et ferme la session lors de la transmission suivante.

3.2 Avantages de l'AN-BA

Nous avons déjà mentionné que l'utilisation du mécanisme de bloc d'acquittement classique peut induire une latence conséquente au sein des réseaux denses en raison du nombre élevé de trames de contrôle qu'il engendre. Nous montrons ici que l'AN-BA optimise le mécanisme du BA tout en offrant une meilleure flexibilité de gestion de la taille maximale du *buffer* de données. Dans le mécanisme d'origine, le changement de la taille du *buffer* doit être renégocié à travers une nouvelle session comprenant toutes les trames de contrôle; l'AN-BA quant à lui permet cette modification au cours de la session sans surcharge significative, améliorant ainsi le débit et le délai de transmission. La Section 4 illustre les performances des deux mécanismes dans un environnement moyennement dense en prenant comme référence le standard IEEE 802.11ax.

4 Évaluation des performances

4.1 Scénarios de test

Pour évaluer les performances des deux mécanismes, nous considérons le simulateur *network simulator-3* (ns-3) [9]. Nous avons modifié les modules ns-3 pour introduire les fonctionnalités de notre méthode. De plus, afin de prendre en compte les spécificités de l'AN-BA, un nouveau mécanisme a été introduit afin que la taille maximale du *buffer* puisse changer en fonction des exigences de l'expéditeur et du destinataire. A chaque période T_{update} de la durée de transmission, la taille maximale du *buffer* peut ainsi être mise à jour. Dans cet article, nous fixons T_{update} à 100 ms. La taille maximale du *buffer* vaut 2^a avec $a \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, correspondant aux tailles de buffer de $\{2, 4, 8, 16, 32, 64\}$. Elle passe à 2^{a+1} en cas d'augmentation et à 2^{a-1} en cas de réduction. Deux scénarios sont considérés,

à savoir un réseau dense de 25 ou 36 stations. Les 25 stations sont distribuées sur 5 appartements de 5 stations chacun. Les 36 stations sont réparties dans un immeuble à 3 étages de 3 appartements chacun, chaque logement disposant de 4 stations. Pour des raisons de simplicité, tous les utilisateurs ont une position sélectionnée aléatoirement au début puis fixe pendant toute la durée de la simulation. Les transmissions ont lieu avec le même débit physique et utilisent le schéma de modulation à haute efficacité (HE-MCS) 11 dans la bande passante 20 MHz avec 1 flux spatial. Dans chaque scénario, les stations sont connectées à un point d'accès et fonctionnent selon les spécifications IEEE 802.11ax. Les utilisateurs échangent des données en *full-buffer* durant 10 s. Chaque scénario exploite six valeurs de taille maximale du *buffer*. Les résultats sont obtenus en moyennant sur 50 simulations indépendantes.

4.2 Résultats numériques

Les figures 3 et 4 comparent les performances de l'AN-BA à celles du BA, sur la base de deux métriques : le retard et débit moyens par utilisateur.

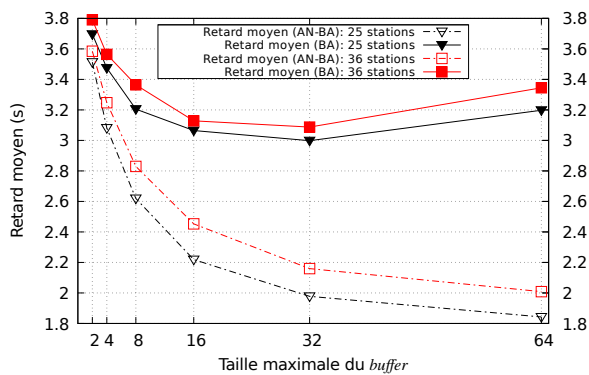


FIGURE 3 – Retard moyen pour 25 et 36 utilisateurs en fonction de la taille maximale du *buffer*

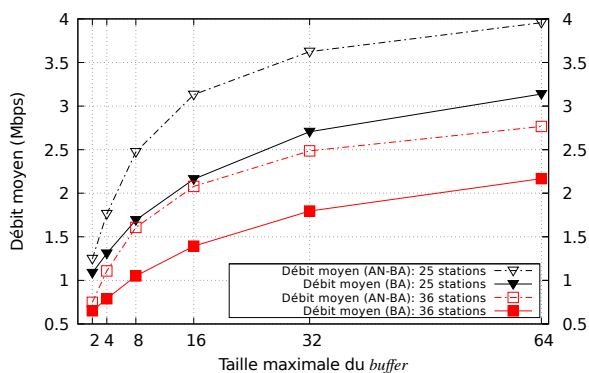


FIGURE 4 – Débit moyen pour 25 et 36 utilisateurs en fonction de la taille maximale du *buffer*

La méthode AN-BA présente une amélioration considérable par rapport au mécanisme BA. Nous observons sur la figure

3 que le mécanisme BA induit un retard jusqu'à deux fois supérieur par rapport à l'AN-BA. Nous constatons par exemple, pour une taille de *buffer* de 64, un retard de 3,5 secondes pour le BA contre 2 secondes avec l'AN-BA. Ce retard influence négativement le débit moyen en présence d'un grand nombre d'utilisateurs. L'AN-BA garantit d'autre part un débit jusqu'à 20% supérieur à celui du BA. Le mécanisme de l'AN-BA est donc mieux adapté pour les environnements denses que le BA. Par ailleurs l'écart est d'autant plus large que la période de mise à jour T_{update} est réduite (pour une réactivité accrue).

5 Conclusion

Cet article présente l'AN-BA, une méthode de négociation adaptative de la session BA ainsi que l'évaluation de ses performances en termes de retard et de débit de transmission en comparaison avec le mécanisme d'acquiescement par bloc classique. L'étude s'est focalisée sur les scénarios moyennement denses dans le contexte du dernier standard IEEE 802.11ax. L'AN-BA améliore les performances en comparaison au mécanisme d'origine BA qui s'avère moins efficace en présence d'un grand nombre d'utilisateurs. Dans certaines configurations, l'AN-BA permet un gain de débit de 1 Mbps par utilisateur. Les délais de transmissions sont également réduits, avec jusqu'à 40% de moins de retard moyen pour un trafic de données continu. La prochaine étape est l'évaluation théorique des performances du mécanisme d'acquiescement, indépendamment de l'application.

Références

- [1] 802.11-2012, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Mars 2012.
- [2] IEEE P802.11ax/D1.3, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 6 : Enhancement for High Efficiency WLAN, Juin 2017.
- [3] 802.11a-1999, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : High Speed Physical Layer in the 5 GHz band, Septembre 1999.
- [4] 802.11n-2009, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 5 : Enhancements for Higher Throughput, Octobre 2009.
- [5] 802.11ac-2013, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 4 : Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, Décembre 2013.
- [6] 802.11e-2005, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 8 : Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, Novembre 2005.
- [7] Guido R. Hiertz, Lothar Stibor, Joerg Habetha, Erik Weiss et Stefan Mangold, "Throughput and Delay Performance of IEEE 802.11e Wireless LAN with Block Acknowledgments," 11th European Wireless Conference 2005 - Next Generation wireless and Mobile Communications and Services, Avril 2005.
- [8] K.Abdelalim, G.Redieteb, S.Destouet Roblot et K.Amis, "Adaptive Negotiation for Block Acknowledgment Session Management," IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Avril 2019.
- [9] nsnam, "The ns-3 network simulator," Septembre 2018. [Enligne]. Disponible : <https://www.nsnam.org/>.