

Récepteur robuste d'en-têtes physiques du standard IEEE 802.11n

Zied JAOUA^{1,2}, Anissa MOKRAOUI², Pierre DUHAMEL¹,

¹ LSS/CNRS, SUPELEC

Plateau de Moulon, 91192 Gif-sur-Yvette, France

²L2TI, Institut Galilée, Université Paris 13

99, Avenue Jean Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

jaoua@lss.supelec.fr, anissa.mokraoui@galilee.univ-paris13.fr, duhamel@lss.supelec.fr

Résumé – Nous nous intéressons au problème de la correction d'erreurs survenues dans les en-têtes des trames physiques du standard 802.11n lors de leurs transmissions dans un environnement bruité. Cet article contribue au développement de la stratégie cross-layer transparente. Notre travail généralise l'approche de réception conjointe source canal à une réception conjointe protocole/canal. Le récepteur proposé s'appuie sur le principe turbo de décodage itératif de codes concaténés en série, et prend en compte les spécificités du protocole réseau utilisé. En effet, le décodeur extérieur exploite les redondances extraites entre les deux couches protocolaires à savoir la couche PHY et la couche MAC. Le principe d'une telle approche a été proposé par des membres de l'équipe. Il est ici appliqué pour la première fois en présence de codage canal. Les résultats de simulation montrent que le récepteur proposé permet d'améliorer significativement la qualité de protection comparée à un décodage canal classique.

Abstract – This paper addresses the correction of errors in the physical frame headers of 802.11n standard during their transmissions. This work contributes to the development of the cross-layer transparent methodologies. The work generalizes the approach of joint source/channel receivers to a joint protocol/channel reception. The proposed receiver relies on the principle of turbo iterative decoding of serially concatenated codes, and takes into account the specificities of protocols involved in the network. Indeed, the decoder exploits the redundancy extracted from the two protocol layers, the PHY layer and MAC layer. The principle of such an approach was already proposed by members of the team. It is applied here for the first time in the presence of a channel code. The simulation results show that the proposed method improves the quality of the protection of the transmitted physical frames compared to a conventional channel decoding.

1 Introduction

Le modèle OSI a été mis en place afin de normaliser la communication entre plusieurs stations connectées. L'architecture adoptée est basée sur le principe de couches protocolaires empilées. Chaque couche du processus d'émission a un rôle précis (conversion, routage ...) et encapsule les données (payload) en provenance de la couche du dessus en y ajoutant ses propres informations (en-tête) avant de les passer à la couche du dessous (opération inverse à la réception).

Les en-têtes spécifiques à chaque couche protocolaire renferment des informations pertinentes (par exemple adresses, modes de transmission ...) nécessaires au traitement correspondant du flux transmis. L'objectif d'un tel système est de séparer les problèmes en couches disjointes. Dans un environnement de communication bruité, les mécanismes habituellement adoptés consistent à retransmettre les trames erronées au lieu d'envisager d'appliquer par exemple des méthodes d'estimation robuste.

Pour faire face à une telle situation, des solutions ont été proposées dans la littérature. Ces solutions s'appuient sur une nouvelle stratégie de type cross-layer [1]. Citons quelques unes de ces méthodes. Dans le cadre d'applications de transmission multimédia, un protocole appelé UDP-lite a été développé [2]. Celui-ci protège les en-têtes et accepte quelques erreurs dans

la payload de façon à transmettre l'information à la couche supérieure. Citons également le protocole ROHC (Robust Header Compression) qui s'intéresse à la compression robuste des en-têtes [4]. Ce dernier extrait et exploite la redondance disponible au niveau des en-têtes des différentes couches protocolaires. Dans [5], les auteurs exploitent les informations extraites de la couche physique (par exemple les paramètres de codage, les conditions du canal ...) pour une bonne adaptation de la fragmentation de la couche MAC. Dans [3], une estimation des champs d'en-têtes au sens du maximum de vraisemblance est proposée pour améliorer le débit puisque le nombre de retransmission des paquets endommagés est réduit. Dans [6], les auteurs ont extrait et exploité les informations disponibles afin de mieux estimer les paquets endommagés.

Dans cet article, nous nous intéressons au problème de la correction d'erreurs dans les en-têtes des trames physiques du standard IEEE 802.11n [7]. Le travail proposé s'inscrit dans le cadre du développement de la stratégie de type cross-layer. Partant de l'approche développée dans [6], nous proposons de l'adapter à la couche physique du standard IEEE 802.11n. Cet article est organisé comme suit. La section suivante décrit l'en-tête de la trame physique afin d'en déduire les informations pertinentes à exploiter par notre récepteur itératif. Celui-ci est ensuite décrit en section 3. La section 4 fournit des résultats

de simulation qui confirment la validité d'une approche de type cross-layer.

2 En-têtes de la trame physique 802.11n

Le standard 802.11n propose trois formats possibles d'en-tête de la trame physique [7]. Ces formats, étroitement liés à l'infrastructure du réseau, sont appelés "Non-HT", "HT-mixed" et "HT-greenfield". Dans chaque format de trame, les champs réservés pour la synchronisation sont identiques, à savoir "L-STF", "L-LTF", "HT-STF" and "HT-LTF". Nous travaillons sur l'en-tête de la trame "HT-mixed" puisque celle-ci reste beaucoup plus générale que les deux autres formats. Dans cet article, les champs pertinents de l'en-tête de la trame "HT-mixed" sur lesquels nous nous appuyons pour l'extraction des informations nécessaires afin de reconstruire les séquences valides d'en-têtes (notées par D dans notre récepteur itératif décrit à la section 3) correspondent aux champs "L-Sig" (voir Fig.1) et "HT-Sig" (voir Fig.2).

3 Décodeur itératif d'en-tête physique

L'approche proposée s'inscrit dans le cadre d'une stratégie cross-layer. Introduisons tout d'abord quelques notations. Notons $\mathbf{d} = (d_1, \dots, d_k, \dots, d_N)$ la séquence binaire associée à l'en-tête physique où N est la longueur de l'en-tête. Les bits d'information (d_k) sont supposés équiprobables. Cette séquence est entrelacée, envoyée à l'entrée d'un codeur convolutif de rendement $\frac{1}{2}$ puis modulée à deux états. Notons la par $\mathbf{x}_1^N = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_k, \dots, \mathbf{x}_N)$ où $\mathbf{x}_k = (x_{k,0}, x_{k,1}, \dots, x_{k,n-1})$. Ce train d'information est ensuite transmis via un canal sans mémoire supposé additif gaussien et blanc. Le train d'information obtenu à la sortie de ce canal est noté $\mathbf{y} = \mathbf{y}_1^N = (\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_k, \dots, \mathbf{y}_N)$ où $\mathbf{y}_k = (y_{k,0}, y_{k,1}, \dots, y_{k,n-1})$. Définissons deux ensembles \mathbf{R} et \mathbf{D} de séquences binaires de longueur N . Le premier ensemble $\mathbf{R} = \{[d_1, d_2, \dots, d_N] \in \{0, 1\}^N\}$ contient toutes les séquences possibles. Tandis que le deuxième ensemble $\mathbf{D} = \{[d_1, d_2, \dots, d_N] \in \{0, 1\}^N\}$ ne contient que les séquences respectant les spécificités de l'en-tête physique. Des investigations ont permis d'extraire et d'exploiter les informations pertinentes des champs d'en-tête de la trame fournies par le standard 802.11n afin de construire les séquences d'en-têtes valides.

3.1 Extraction de la redondance exploitable par le décodeur extérieur

Nous supposons que les stations sont synchronisées, c'est à dire que les champs ("L-STF", "L-LTF", "HT-STF" and "HT-LTF") réservés à la synchronisation sont correctement reçus.

Dans 802.11n un mécanisme d'esquive de collision basé sur le principe d'accusé de réception entre l'émetteur et le récepteur est géré par le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access avec Collision Avoidance). La station désirant émettre écoute d'abord le réseau. Si ce dernier est encombré, la transmission est différée. Par contre si le média est libre pendant un certain temps prédéfini, la station peut émettre. La station

transmet alors une trame RTS (Request To Send) contenant des informations pertinentes, entre autres sa durée de transmission. Le récepteur répond en transmettant une trame CTS (Clear To Send). La station commence à émettre ses données. En revanche, ce mécanisme est déclenché lorsque la taille des trames à transmettre est assez grande.

Le paramètre RTS-Threshold indique la taille minimale de la trame physique à partir de laquelle le mécanisme CSMA/CA est enclenché. La valeur par défaut est fixée à 2347 octets. Ceci délimite deux situations possibles, qui sont traitées différemment.

Considérons la situation où le mécanisme d'esquive de collision n'est pas déclenché. Dans ce cas, aucune trame RTS n'est envoyée. Les champs "Length" de "L-sig" valides sont déduits alors à partir de RTS-Threshold. Ces derniers sont compris entre 0 et la valeur fixée par RTS-Threshold.

Considérons la situation où le protocole CSMA/CA est enclenché. Les champs associés à "Length" nécessitent de déduire la valeur du champ "HT-Length". Celle-ci est déduite à partir de la relation mathématique (fournie par 802.11.n) qui dépend de la valeur contenue dans le champ "duration" correspondant au temps nécessaire pour la transmission (mesurée en microsecondes) de la trame physique déduit à partir de la trame CTS.

$$\text{HT-Length} = (\text{Duration} - 3T_{SIFS} - 3T_{OVH} - 2T_{ACK}/\text{Bitrate}) * \text{Bitrate} \quad (1)$$

où T_{SIFS} est la durée en microsecondes d'un Short Inter-Frame Space,

T_{OVH} est la durée nécessaire pour transmettre l'overhead (les préambules et les champs de l'en-tête)

et T_{ACK} concerne la transmission de l'accusé de réception ACK. Tous ces champs sont connus par le récepteur.

Les champs "Bitrate" de "HT-sig" sont déduits à partir des valeurs "MCS" et "Bandwidth" imposées par le standard. Seules 77 valeurs "MCS" sont valides bien que 7 bits soient réservés pour ce champ. Deux valeurs sont valides pour les champs "Bandwidth". Des configurations interdites sont alors identifiées. Neuf bits sont réservés pour les champs d'options dans "HT-sig". Toutes les configurations possibles sont alors retenues. Pour chaque configuration d'en-tête valide, un bit de parité "P" est calculé. Un CRC8 est ensuite appliqué sur chaque séquence valide d'en-tête.

3.2 Récepteur itératif

Le problème de l'estimation des données bruitées est résolu par une approche itérative basée sur le principe turbo.

La dépendance entre les bits codés est alors prise en compte. Le récepteur itératif estime le message transmis \mathbf{d} au sens du MAP à partir des données reçues \mathbf{y} à la sortie du canal. Le premier bloc correspond au décodeur canal (BCJR) et le second au bloc d'estimation de l'en-tête physique. La chaîne de communication est présentée par Fig.3. Pour plus de détails se référer à [8].

A une itération donnée I , l'algorithme de décodage procède en trois étapes. A la première étape, le décodeur BCJR maximise la probabilité a posteriori $P(\mathbf{d}/\mathbf{y})$ qui est équivalente à la

maximisation des probabilités a posteriori (APP) marginales

$$\prod_{k=1}^N P_{BCJR}^I(d_k/y_k).$$

Ces dernières sont calculées pour toutes les séquences possibles $\mathbf{d} \in \mathbf{R}$. L'information extrinsèque désentrelacée est ensuite envoyée à l'entrée du bloc d'estimation d'en-tête.

A la deuxième étape, le bloc d'estimation projette les distributions des APP évaluées sur \mathbf{R} , sur l'ensemble des distributions des APP compatibles avec les spécificités de l'en-tête physique. Pour mener à bien les calculs, il est alors nécessaire de construire l'ensemble D des séquences conformes aux spécifications de l'en-tête de la trame physique du standard 802.11n.

Puisque les séquences valides d'en-têtes D sont identifiées, le bloc d'estimation d'en-tête calcule l'information intrinsèque. Pour estimer le bit d'information d_k , le bloc d'estimation d'en-tête cherche la distribution des APP qui maximise $P^+(\mathbf{d})$. Celle-ci est désentrelacée puis envoyée à l'entrée du bloc BCJR. Les APP marginales correspondent aux métriques des branches calculées à l'instant k par l'estimateur d'en-tête.

4 Résultats de simulation

Dans le standard 802.11n, la séquence en-tête de la trame physique est entrelacée, envoyée à l'entrée d'un codeur convolutif (longueur de contrainte 7, polynôme générateur donné par la représentation octale [171,133], de rendement $\frac{1}{2}$) puis modulée par une modulation à deux états (MDP2). Nous supposons que les préambules ("L-STF", "L-LTF", "HT-STF" et "HT-LTF") ont été correctement reçus et que les stations sont synchronisées. Les performances du système développé sont mesurées en terme de taux d'erreur en-tête en fonction de E_b/N_0 . Les résultats obtenus par notre récepteur robuste sont comparés par rapport à un décodage canal de type (i) BCJR ; et (ii) SOVA. Ce dernier est imposé par notre partenaire (COMSIS) chargé de la conception de la carte 802.11n dans le cadre du projet "DITEMOI" de l'ANR.

Notre partenaire industriel a fixé les 9 bits d'options d'en-tête. Seules, les valeurs obligatoires du champ "MCS" (i.e. 0 to 15) ont été implantées. Nous déduisons que 2347×16 séquences d'en-tête sont valides lorsque la taille des trames est inférieure à 2347 octets et uniquement 16 si on reçoit une trame de contrôle CTS. Les graphes de Fig. 5 illustrent les résultats obtenus dans le cadre du projet. Pour un même taux d'erreur en-tête de 10^{-2} et à la seconde itération, le récepteur propose une amélioration de (i) 6 dB lorsque la stratégie CSMA/CA; (ii) 2 dB lorsque le mécanisme CSMA/CA n'est pas enclenché comparé à une décision dure à la sortie du SOVA.

Pour réduire la charge de calcul (en particulier lorsque RTS n'est pas transmis), nous proposons d'apporter une légère modification à notre récepteur qui n'altère pas sensiblement les performances de notre système. Une décision dure est prise sur les valeurs souples à la sortie du décodeur BCJR uniquement sur les 9 bits réservés aux options de l'en-tête. Cette stratégie permet de réduire le nombre de métriques à calculer par un facteur de 2^9 . En effet 9 valeurs extrinsèques parmi 51 ne seront

pas calculées. A chaque itération, une nouvelle décision dure est prise sur les valeurs souples associées aux 9 bits d'options. Dans le cas où un RTS est envoyé, le nombre de métriques à calculer est donné par le nombre de "Bitrate" valides, autrement par $2347 \times$ le nombre de "Bitrate" valides. Cette méthode itérative physique tête est appelée méthode 1 (énumération incomplète des séquences faisables). Les résultats de simulation sont fournis par Fig. 4 Pour un taux d'erreurs en-têtes de 10^{-2} , à la deuxième itération le récepteur offre un gain de 1.5 dB lorsque un RTS est envoyé et de 1 dB sans RTS par rapport à une décision dure à la sortie du décodeur canal BCJR.

En vue d'obtenir un meilleur compromis entre la complexité et l'efficacité de l'approche itérative proposée, une méthode basée sur le cross-layer [6] a été implantée dans notre récepteur (de type BCJR sur un treillis adapté). Cette méthode, appelée méthode 2, sera détaillée dans la version finale de l'article. Les résultats de simulation de cette méthode sont reportés sur Fig. 6. On suppose que la stratégie du CSMA/CA est enclenchée. Comparé aux résultats de la Fig. 5 nous constatons qu'à la première itération, les deux méthodes ont des performances équivalentes. Mais ce n'est qu'à partir de la deuxième itération que la deuxième méthode améliore les performances de 0.5 dB par rapport à la première méthode au détriment d'une charge de calcul accrue.

5 Conclusion

Cet article aborde la problématique de la réception robuste de données encapsulées selon le format de la trame "HT-Mixed" du standard 802.11n. Nous avons proposé une stratégie de cross-layer basée sur une approche conjointe protocole-canal afin de débruiter les en-têtes des trames physiques. La méthode s'appuie sur le principe du turbo-code où une propagation souple de message entre le BCJR et l'estimateur robuste des bits de l'en-tête dont la sortie souple est redirigée vers le canal.

Remerciements : Ce travail est financé par l'ANR dans le cadre du projet DITEMOI.

| Débit | | R | | | Longueur | | | P | | Fermeture CC | |
|-------|-----|---|---|---|----------|----|----|----|-----|--------------|--|
| 0 | ... | 3 | 4 | 5 | ... | 16 | 17 | 18 | ... | 23 | |

FIG. 1: "L-Sig" de l'en-tête de la trame physique "HT-Mixed"

Références

- [1] M. Van der Schaar et S. Shankar, *Cross-layer wireless multimedia transmission: Challenges, principles, and new paradigms* dans IEEE Wireless Comm. Mag., 2005, vol. 12, 4, pp. 50–58.
- [2] L. A. Larzon, M. Degermark, L. E. Jonsson, et G. Fairhurst, *The lightweight user datagram protocol (udp-lite)*. dans Technical Report RFC 3828, The Internet Society, 2004.
- [3] S. A. Khayam et H. Radha, *Maximum-likelihood header estimation: A cross-layer methodology for wireless multimedia* dans

| HT-SIG1 | | | | | | | | | |
|---------|-----|---|----------|---|-----------|-----|-----|-----|----|
| MCS | | | 20/40 BW | | HT-LENGTH | | | | |
| 0 | ... | 6 | 7 | 8 | ... | ... | ... | ... | 23 |

| HT-SIG2 | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|--------------|-------------|------|-------------|----------|------------------------|----------------------------------|------|-------------|-----------|
| Not Smoothing | Not Sounding | Reserved one | Aggregation | STBC | LDPC Coding | Short GI | Num of Spatial Streams | Num of Extension Spatial Streams | CRC8 | SIGNAL TAIL | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 ... 17 | 18 ... 23 |

FIG. 2: "HT-Sig" de l'en-tête de la trame physique "HT-Mixed"

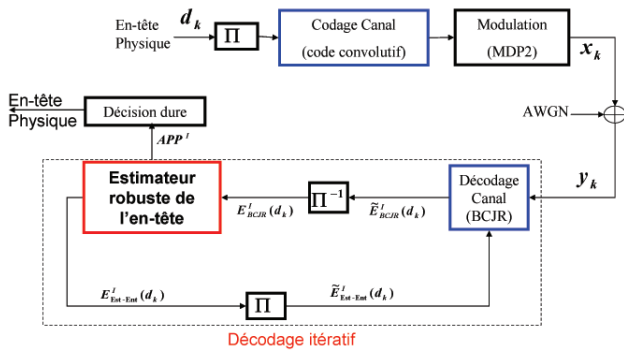


FIG. 3: Chaîne de transmission

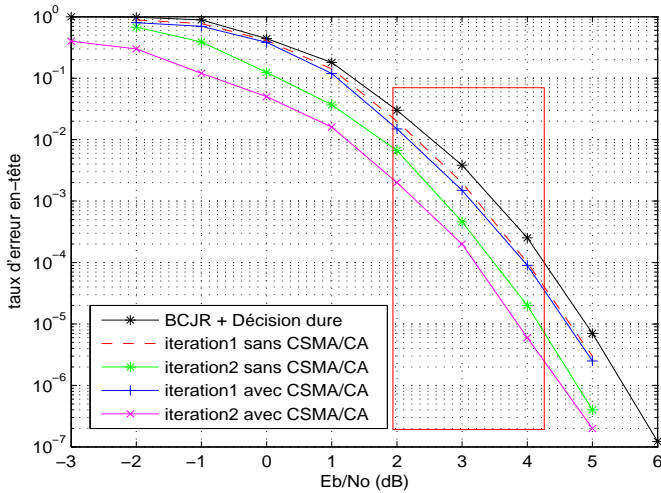


FIG. 4: Comparaison des taux d'erreurs en-têtes physiques

IEEE Trans. on Wireless Communications, Nov 2007, vol. 6, 11, pp. 3946–3954.

- [4] Robust header compression : Framework and four pro-files: Rtp, udp, esp, and uncompressed dans Technical Report RFC 3095, 2001.
- [5] X. He, F. Y. Li, and J. Lin, Link adaptation with combined optimal frame size and rate selection in error-prone 802.11n network, dans IEEE ISWCS, 2008, pp. 733-737.

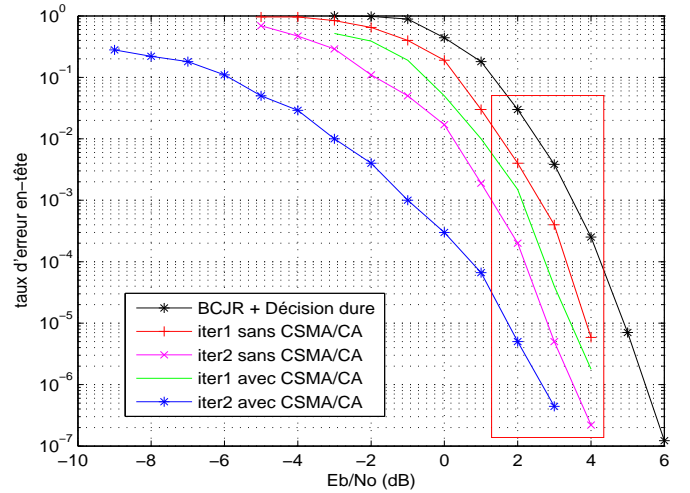


FIG. 5: Taux d'erreurs en-têtes physiques : cas DITEMOI (9 bits d'options d'en-tête fixés)

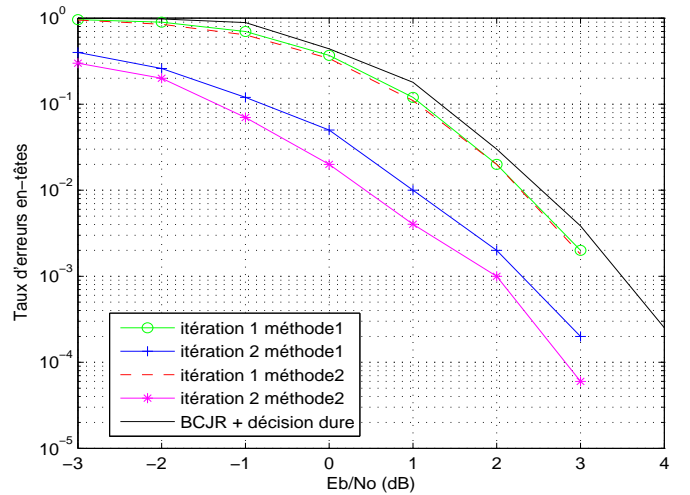


FIG. 6: Comparaison des méthodes : (1) énumération incomplète des séquences faisables; (2) méthode de type BCJR sur un treillis adapté

works, dans IEEE ISWCS, 2008, pp. 733-737.

- [6] C. Marin, Y. Leprovost, M. Kieffer et P. Duhamel, Robust mac-lite and soft header recovery for packetized multimedia transmission. dans IEEE Trans. on Communications, 2009.
- [7] IEEE p802.11n/d2.00: Draft standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements. Fev. 2007.
- [8] Z. Jaoua, A. Zergainoh-Mokraoui et P. Duhamel, Robust transmission of html files : Iterative joint source-channel decoding of Lempel Ziv-77 codes dans IEEE Inter. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Mars 2008 pp. 2993–2996.