

Caractéristiques opérationnelles des décodeurs robustes : application à la réception de codes deflate

Anissa MOKRAOUI¹, Pierre DUHAMEL²

¹L2TI, Institut Galilée, Université Paris 13
99 Avenue Jean-Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

²LSS/CNRS, SUPELEC
Plateau de Moulon, 3 rue Joliot Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, France
anissa.mokraoui@univ-paris13.fr, pierre.duhamel@lss.supelec.fr

Résumé – L'utilisation de décodeurs robustes de type source-canal conjoint est fondamentalement incompatible avec le process de type ARQ de demande de retransmission de paquets erronés. Cette compatibilité peut être restaurée si l'on peut évaluer la fiabilité de la décision prise par le décodeur robuste. Ce problème a déjà été abordé dans le contexte de la transmission vidéo, mais un certain nombre d'hypothèses font que le calcul proposé sous-évalue les performances du décodeur robuste. Nous proposons un calcul exact de ce critère. Une analyse des résultats sur des séquences artificielles binaires mais parfaitement contrôlées, montre que notre calcul permet de mieux évaluer les performances du décodeur séquentiel à M -chemins. Dans un cadre réaliste de téléchargement de pages HTML comprimées, prenant en compte le codage canal, les courbes Caractéristiques Opérationnelles du Récepteur (COR) de notre décodeur robuste de codes deflate montrent qu'il est possible de réduire le nombre de demande de retransmission ARQ tout en garantissant avec un critère objectif une bonne fiabilité du flux deflate décodé.

Abstract – This paper focuses on the development of a tool which takes a decision on the reliability of estimated packets using a robust decoder such as joint source-channel decoder in order to determine the number of retransmission requests of damaged packets during their transmission over a wireless network. Studies, in the context of the video transmission, have formulated the evaluation by a hypothesis testing based on the criterion of Neyman-Pearson where the assumptions are that the calculation underestimates the performance of the robust decoder. We propose an exact calculation of this criterion. An analysis of the results in the same circumstances, first on artificial binary sequences but perfectly controlled shows that our calculation allow to better evaluate the performance of the sequential M -algorithm decoder. In a realistic situation of downloading HTML compressed pages, taking into account the channel coding, the receiver operating characteristic curves (ROC) of our robust decoder of deflate codes show that it is possible to reduce the number of retransmission request (ARQ) while ensuring an objective test with good reliability deflate stream decoded.

1 Introduction

Le modèle OSI a été mis en place afin de normaliser la communication entre plusieurs stations connectées. L'architecture adoptée est composée couches protocolaires empilées. Ce mode de fonctionnement impose une série d'encapsulations successives des données pour finir par constituer des trames qui seront véhiculées sur le lien physique.

Chaque couche du modèle OSI complète les données qu'elle a reçues de la couche supérieure par des informations spécifiques à la couche appelées "en-tête". Un paquet est alors construit par un en-tête spécifique à la couche, d'une payload suivie par un CRC (ou Checksum). Ce dernier peut être calculé sur la payload, sur l'en-tête ou encore sur le paquet entier. A la réception de ce paquet, le CRC est calculé sur les données qu'il protège. Si le calcul du CRC est faux, le paquet est rejeté. Une demande de retransmission est alors enclenchée par le mécanisme ARQ (Automatic Repeat reQuest). Dans des conditions difficiles de réception le nombre de retransmissions augmente, et surcharge le réseau. De plus le retard introduit peut

être excessif et donc affecter les applications temps réel.

En vue d'améliorer les performances des réseaux classiques de communication sans fil, plusieurs stratégies de type cross-layer ont été développées ([1], [2]). De plus, de nombreuses avancées en décodage robuste ont montré qu'il est possible d'une part de réduire de manière significative le nombre d'entêtes erronés ([4], [5], [6]) et d'autre part d'utiliser les paquets reçus même endommagés, améliorant ainsi la zone de réception de plusieurs décibels en terme de rapport signal à bruit où l'on pouvait recevoir un flux vidéo ou HTML correct.

La démarche correspondante s'appuie sur l'utilisation conjointe des techniques de décodage robuste tout en garantissant une compatibilité avec les réseaux classiques. Dans cette situation, lors de la réception de flux comprimés, on a le choix entre deux stratégies. Soit une erreur de transmission déclenche une réémission (ARQ) du paquet erroné, soit un décodeur robuste (type source-canal conjoint) essaie de tirer le meilleur parti des signaux reçus. Cette procédure est malheureusement incompatible avec les mécanismes ARQ. En effet, après décodage robuste, il n'est plus possible de savoir si la séquence est er-

ronées. Il est donc nécessaire d'introduire un dispositif permettant d'évaluer si le résultat du décodage robuste est fiable. En présence d'un tel dispositif, on ne demande le renvoi du paquet que s'il est vraisemblable que le décodage robuste n'a pas donné de solution satisfaisante. L'objectif de ce dispositif est donc de réduire le nombre de paquets retransmis, tout en laissant passer un nombre négligeable et contrôlable d'erreurs.

Dans la référence [8], une technique de retransmission (appelée Soft-ARQ (SARQ)) dédiée à la transmission de flux vidéo compressé selon la norme H.264/AVC a été développée. La technique s'appuie conjointement sur le décodage robuste de la vidéo et le mécanisme classique de demande de retransmission ARQ. La décision d'une demande de retransmission repose sur un test d'hypothèses basé sur le critère de Neyman-Pearson. En revanche le calcul du rapport de vraisemblance proposé est un calcul approché, pour lequel les performances du récepteur sont sous-évaluées. Dans ce qui suit, nous proposons un calcul exact de ce rapport pour mesurer et prendre une décision sur la fiabilité du décodage robuste appliqué téléchargement de pages HTML ([10]) sur un lien radio-mobile de type IEEE 802.11n.

2 Test d'hypothèses de Neyman-Pearson appliqué à l'algorithme à M -chemins

Ce paragraphe propose un outil permettant de prendre une décision objective sur la fiabilité des paquets estimés par le décodeur séquentiel à M -chemins dans le but de déterminer si une demande de retransmission est nécessaire ou pas.

2.1 Principe du test d'hypothèses

Le test d'hypothèses de Neyman-Pearson considère le problème de choix entre deux hypothèses. Soit $\underline{s}_0$ une séquence transmise à travers un canal bruité. Le récepteur estime la séquence transmise, $\hat{\underline{s}}$, à partir de la séquence reçue $\underline{y}$. On distingue alors deux hypothèses H_0 et H_1 :

$H_1 : \hat{\underline{s}} = \underline{s}_0$: la séquence estimée correspond à la séquence transmise ;

$H_0 : \hat{\underline{s}} \neq \underline{s}_0$: la séquence estimée ne correspond pas à la séquence transmise.

Le choix entre ces deux hypothèses, se fait à partir des probabilités suivantes :

- la probabilité de fausse alarme : probabilité d'accepter la séquence $\underline{y}$ alors qu'elle est endommagée (hypothèse H_0) :

$$P_F = P(H_1/H_0) \quad (1)$$

- la probabilité de détection : probabilité d'accepter la séquence $\underline{y}$ sachant qu'elle est correcte (hypothèse H_1) :

$$P_D = P(H_1/H_1) \quad (2)$$

Le critère de Neyman-Pearson consiste à déterminer le domaine d'observations qui maximise la probabilité de détection P_D en fixant un niveau de probabilité de fausse alarme P_F . Il a été

montré que les règles de décision d'une hypothèse (H_0 ou H_1) s'appuient sur le rapport de vraisemblance suivant :

$$R(\lambda) = \frac{P(\underline{y}/H_1)}{P(\underline{y}/H_0)} \quad (3)$$

où $P(\underline{y}/H_1)$ (respectivement $P(\underline{y}/H_0)$) est la vraisemblance de H_1 (respectivement H_0) ; et λ le seuil du test. Les règles de décision se résument comme suit : si $R(\lambda) > \lambda$ on décide alors l'hypothèse H_1 autrement on décide l'hypothèse H_0 .

2.2 Calcul du rapport de vraisemblance

Soit $\underline{y}$ la séquence observée à l'entrée du décodeur séquentiel à M -chemins ; $\underline{d} = d_1 \dots d_k \dots d_n$ la séquence transmise de longueur n . Le décodeur séquentiel à M -chemins cherche à maximiser la vraisemblance entre la séquence émise et celle reçue ($P(\underline{y}/\underline{d})$). Il construit au fur et à mesure un arbre de décodage auquel il associe à chaque chemin une métrique calculée à partir des probabilités a posteriori ($P(y_k/d_k)$) pour enfin estimer les M -meilleures séquences qu'il ordonne selon un ordre décroissant des métriques : $\hat{\underline{d}}_1, \hat{\underline{d}}_2, \dots, \hat{\underline{d}}_M$. On note $\hat{\underline{d}}$ la séquence estimée.

Les hypothèses du critère de Neyman-Pearson décrites ci-dessus correspondent alors à :

$$H_1 : \hat{\underline{d}} = \underline{d}_1$$

$$H_0 : \hat{\underline{d}} \neq \underline{d}_1$$

Les décisions d'acceptation et de rejet sont prises en accord avec le calcul du rapport de vraisemblance donné par (3). De ce fait, il est important que ce calcul soit effectué de manière réaliste, bien que le décodeur séquentiel ne fournisse que les métriques correspondant aux M meilleurs chemins.

2.2.1 Calcul approché du rapport de vraisemblance

La référence [8] propose un calcul approché de la vraisemblance de H_0 dans le cas d'une transmission sur un canal AWGN sans mémoire. L'expression développée, sous certaines hypothèses, est rappelée ci-dessous :

$$P(\underline{y}/H_0) = P(\underline{y}/\hat{\underline{d}} \neq \hat{\underline{d}}_1) = \frac{\sum_{j=2}^M P(\underline{y}/\hat{\underline{d}} = \hat{\underline{d}}_j) P(\hat{\underline{d}} = \hat{\underline{d}}_j)}{1 - P(\hat{\underline{d}} = \hat{\underline{d}}_1)} \quad (4)$$

où $P(\underline{d} = \hat{\underline{d}}_j)$ est la probabilité a priori de la j -ème séquence appartenant aux M meilleures séquences retenues. Pour calculer ces M probabilités a priori, les auteurs s'appuient sur la probabilité d'erreur $\epsilon = Q(\sqrt{\frac{2E_b}{\sigma^2}})$ associé à un bit (E_b étant l'énergie par bit transmis). En revanche, ce calcul ne peut être exact puisque le décodeur séquentiel ne retient que les M meilleures séquences. Les probabilités a priori nécessitent alors d'être normalisées.

2.2.2 Calcul exact du rapport de vraisemblance

A partir de la formule de Bayes, nous obtenons :

$$P(\underline{y}/H_1) = P(\underline{y}/\hat{\underline{d}} = \hat{\underline{d}}_1) = \frac{P(H_1/\underline{y})P(\underline{y})}{P(H_1)} \quad (5)$$

$$P(\underline{y}/H_0) = P(\underline{y}/\hat{\underline{d}} \neq \hat{\underline{d}}_1) = \frac{P(H_0/\underline{y})P(\underline{y})}{P(H_0)} \quad (6)$$

Introduisons ces expressions dans le rapport de vraisemblance. Après simplifications, il en découle que :

$$R(\lambda) = \frac{P(H_1/\underline{y})P(H_0)}{P(H_0/\underline{y})P(H_1)} < \lambda \quad (7)$$

Le calcul de $R(\lambda)$ est alors équivalent au calcul suivant :

$$R(\lambda) \equiv \frac{P(H_1/\underline{y})}{P(H_0/\underline{y})} = \frac{P(H_1/\underline{y})}{1 - P(H_1/\underline{y})} < \lambda \frac{P(H_1)}{P(H_0)} = K \quad (8)$$

où K représente le nouveau seuil du test d'hypothèses.

Le test équivalent au test d'hypothèses de Neyman-Pearson se ramène alors à :

$$R(K) \equiv \frac{P(H_1/\underline{y})}{1 - P(H_1/\underline{y})} < K \quad (9)$$

3 Application du test d'hypothèses au décodeur robuste de codes deflate

Soit $\underline{b} = b_1...b_k...b_n$ la séquence binaire de longueur n générée par l'algorithme de compression deflate où b_k est le bit d'information à l'instant k . Cette séquence est entrelacée avant d'être envoyée à l'entrée d'un codeur convolutif, puis modulée. Ce train d'information est ensuite transmis via un canal AWGN sans mémoire. Les $\{b_k\}$ sont supposés équiprobables et indépendants. La séquence reçue est notée $\underline{y}$.

Le décodeur robuste de codes deflate estime le message transmis au sens du maximum a posteriori à partir des données reçues ([10]). Il est constitué de deux blocs consécutifs (SISO). Le premier bloc est le décodeur canal (BCJR). Tandis que le second est le décodeur source (DSLZ) basé sur l'algorithme de décodage séquentiel à M -chemins adapté aux codes deflate et à la syntaxe du langage HTML. Le décodage met en oeuvre de manière itérative des échanges d'informations souples (probabilités extrinsèques associées à chaque bit codé) entre les deux décodeurs et les contraint à converger au fil de ces échanges.

À la j -ème itération, le décodeur source fournit à sa sortie les APP (A Posteriori Probability) $P_{DSLZ}^j(b_k/\underline{y})$ associées à chaque bit d'information :

$$P_{DSLZ}^j(b_k = u/\underline{y}) = \sum_{\{\underline{b}\}: d_k = u} \exp(M_{[l, l+\tau]}^{b_k = u}) \quad (10)$$

où $u = \{0, 1\}$; τ le pas d'avancement du DSLZ; et $M_{[l, l+\tau]}^{b_k}$ la métrique calculée à partir des APP fournies à la sortie du BCJR ($P_{BCJR}^j(b_i/y_i)$) :

$$M_{[l, l+\tau]}^{b_k} = \sum_{i=l}^{l+\tau} \log P_{BCJR}^j(b_i/y_i) \quad (11)$$

L'équation (9) appliquée au décodeur robuste se ramène à :

$$\frac{\prod_{k=1}^n P_{DSLZ}^j(b_k/\underline{y})}{1 - \prod_{k=1}^n P_{DSLZ}^j(b_k/\underline{y})} < K \quad (12)$$

4 Résultats de simulation

Les simulations s'appuient sur le schéma de retransmission ARQ qui n'enclenche une demande de retransmission du paquet émis que lorsque celui-ci est endommagé (appelé selective repeat ARQ). Le test d'hypothèses de Neyman-Pearson est appliqué dans deux situations différentes : (i) artificielle sur des séquences binaires sans codage canal ; et (ii) réaliste sur des codes deflate avec codage canal.

Les séquences binaires artificielles, de différentes longueurs (n), sont envoyées sur un canal AWGN sans mémoire. À la réception, le décodeur séquentiel estime les données reçues. Nous comparons, dans les mêmes conditions, le rapport de vraisemblance formulé par la référence [8] avec celui que nous proposons (voir équation (9)). Les graphes des figures Fig. 1 (avec $n = 6$, $M = 64$, $SNR = 6dB$) et Fig. 2 (avec $n = 6$, $M = 64$, $SNR = 8dB$) montrent que le compromis entre le nombre moyen de transmission d'un paquet et la probabilité de fausse alarme est bien meilleur pour le calcul exact.

La deuxième situation correspond à des conditions réalistes. La séquence transmise est estimée par le décodeur robuste de codes deflate. Nous supposons que : (i) tous les en-têtes reçus sont corrects (ou ont été corrigés) ; et (ii) les informations souples associées aux codes deflate même s'ils sont endommagés sont accessibles puisque ces dernières ont été remontées de la couche physique jusqu'à la couche application (approche cross-layer). Les simulations sont réalisées sur le fichier html de test donné en [11]. Le fichier comprimé (deflate) de longueur 2018 bits est véhiculé dans un seul paquet. Nous travaillons dans la zone de fonctionnement du récepteur allant de $5dB$ à $8dB$ pour une transmission de type MIMO (2×2) sur un canal de Rayleigh.

Nous simulons la chaîne de communication donnée en [10]. Les spécifications du mode de fonctionnement le plus robuste de la norme IEEE 802.11n sont respectées : modulation MDP2, codeur convolutif de rendement $1/2$ avec longueur de contrainte 7 et des fonctions génératrices [171,133] ; et un entrelaceur aléatoire. Les paramètres du DSLZ choisis sont $M = 10$ et $\tau = 5$.

Les graphes de Fig.3 illustrent le compromis entre le nombre moyen de transmission d'un paquet et la probabilité de fausse alarme. Les courbes données par Fig.4 présentent les Caractéristiques Opérationnelles du Récepteur (COR), exprimant P_D en fonction de P_F pour différents réglages de seuil K et rapport signal à bruit ($SNR = 6dB$ et $7dB$). Plus le SNR est grand plus les performances du test sont bonnes. Ces courbes montrent qu'il est possible de réduire le nombre de demande de retransmission ARQ tout en garantissant avec un critère objectif une bonne fiabilité du flux deflate décodé.

5 Conclusion

Une amélioration du dispositif permettant de mesurer et de prendre une décision sur la fiabilité des données à la sortie d'un récepteur robuste a été proposé. Les demandes de retransmis-

sion sont gérées par ce dispositif qui garantit une compatibilité avec les réseaux classiques de communications. Une extension de notre étude aux différents mécanismes de retransmission (par exemple Stop and wait ARQ, Go-back-N ARQ) fera l'objet d'investigations.

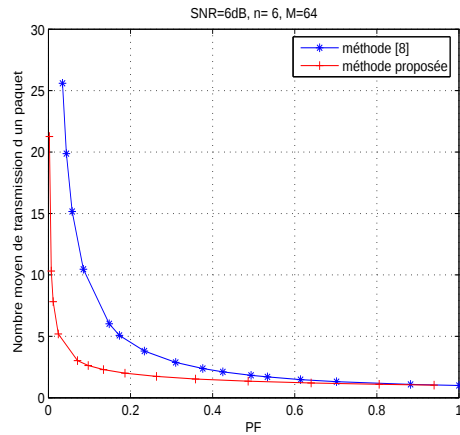


FIG. 1 – Nombre moyen de transmission d'un paquet en fonction de P_F

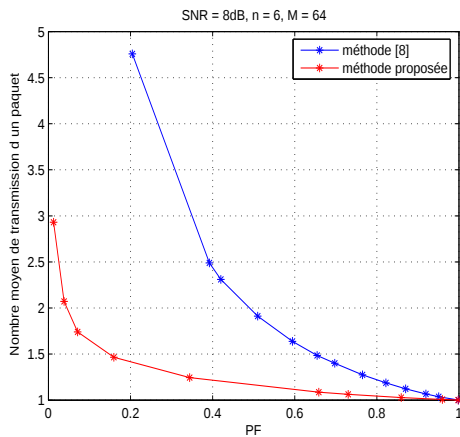


FIG. 2 – Nombre moyen de transmission d'un paquet en fonction de P_F

Références

- [1] S. A. Khayam and H. Radha, *Maximum-likelihood header estimation : A cross-layer methodology for wireless multimedia*, IEEE Trans. on Wireless Com., Vol. 6, No. 11, Nov. 2007, pp. 3946-3954.
- [2] *Robust header compression*, Tech. Rep. RFC 3095, 2001.
- [3] P. Duhamel, M. Kieffer *Joint source-channel decoding. a cross-layer perspective with applications in video broadcasting over mobile and wireless networks*, EURASIP and Academic Press Series in Signal and Image Proc., Elsevier, Dec. 2009.
- [4] F. Mériaux and M. Kieffer *Robust IP and UDP-lite header recovery for packetized multimedia transmission*, ICASSP 2010.

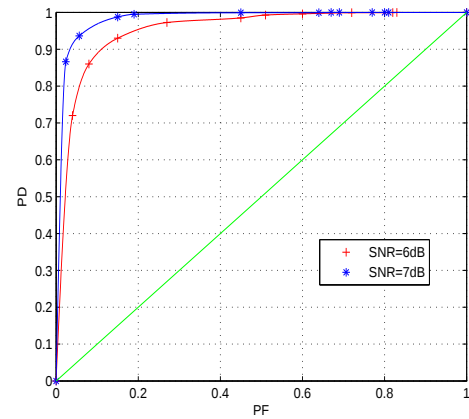


FIG. 3 – Caractéristiques opérationnelles du décodeur robuste de codes deflate

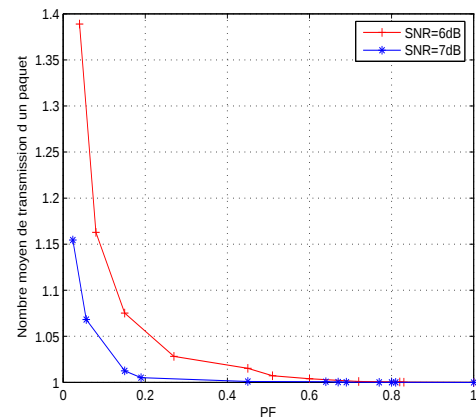


FIG. 4 – Nombre moyen de transmission d'un paquet en fonction de P_F

- [5] C. Marin, Y. Leprovost, M. Kieffer, and P. Duhamel, *Robust MAC-lite and soft header recovery for packetized multimedia transmission*. IEEE Trans. on Com., 2009,
- [6] C. Z. Jaoua, A. Zergainoh-Mokraoui, P. Duhamel, *Robust transmission of 802.11n physical packet headers*, SPAWC 2009.
- [7] C. Lamy and S. Mériegeault, *Method of correcting an erroneous frame by a receiver*. patent WO03101028, Dec. 2003.
- [8] K. Bouchireb, C. Marin, P. Duhamel, M. Kieffer., *Improved retransmission scheme for video communication systems*, IEEE PIMRC'08 1-5, sept.2008, Cannes, France.
- [9] C. Z. Jaoua, A. Zergainoh-Mokraoui, P. Duhamel, *Robust transmission of HTML files : Iterative joint source-channel decoding of Lempel-Ziv-77 codes*, ICASSP 2008, pp. 2993-2996.
- [10] C. Z. Jaoua, A. Zergainoh-Mokraoui, P. Duhamel, *Robust transmission of HTML files : Iterative joint source-channel decoding of deflate codes*, EUSIPCO 2008.
- [11] *Base d'exemples de sdk* : www.forum.nokia.com/tools/worldcup.html.