

# Méthodes de décodage à entrées pondérées pour la transmission d'images JPEG2000 Wireless sur des canaux fortement bruités

Marwa MHAMDI<sup>1,2</sup>, Amin ZRIBI<sup>2</sup>, Clency PERRINE<sup>1</sup>, Yannis POUSSET<sup>1</sup>, Christian OLIVIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut XLIM, département SIC, UMR CNRS 7252, Université de Poitiers

<sup>2</sup>Laboratoire Systèmes de Communications, ENIT, Université Tunis Elmanar

marwa.mhamdi@univ-poitiers.fr, amin.zribi@isetcom.tn

**Résumé** – Ce travail cherche à améliorer les performances d'un système de transmission d'images fixes sur un canal sans fil fortement bruité. Pour cela, nous proposons un schéma de décodage conjoint source-canal basé sur des techniques de décodage à entrées pondérées. Ce schéma implique la concaténation en série d'un décodeur de canal Reed Solomon à entrées/sorties pondérées et un décodeur arithmétique à entrées pondérées qui ont été intégrés au niveau du décodeur JPWL (JPEG2000 Wireless). Les résultats obtenus ont montré que ce schéma conjoint apporte une nette amélioration des performances par rapport à des schémas de décodage classique.

**Abstract** – This work aims to improve the performance of an image transmission system over a highly noisy wireless channel. To this end, we propose a joint source-channel decoding based on soft-inputs decoding techniques. This scheme involves the serial concatenation of a Soft-In Soft-Out Reed Solomon decoder and a Soft-Input arithmetic decoder that were integrated into the JPWL (JPEG2000 Wireless) decoder. Simulation results illustrate good performance improvements compared to classical decoding schemes.

## 1 Introduction

Au cours des dernières années, la réalisation d'une transmission robuste de données multimédia à travers les canaux sans fil a reçu beaucoup d'attention. Cependant, le manque de fiabilité des canaux sans fil, rend cette tâche plus pointue. La trame compressée par le codeur JPEG 2000 se montre très sensible aux erreurs de transmission ce qui rend son utilisation pour des environnements sans fil critique. De ce fait, plusieurs travaux de recherche ont proposé des outils et des méthodes de codage/décodage plus efficaces pour augmenter la résistance du flux codé aux erreurs de transmission. Dans [1], un algorithme de décodage pondéré pour les codes arithmétiques (CA) avec insertion de symbole interdit a été présenté. Le décodeur arithmétique proposé dans [2] utilise des marqueurs de resynchronisation souples à la place de symbole interdit. D'autres techniques de protection contre les erreurs basées sur les codes Reed Solomon (RS) ont été également présentées dans [3]. Ces outils ont été retenus dans la partie 11 de la norme JPEG 2000, notée JPEG2000 WireLess (JPWL) [4]. Cette nouvelle extension, généralise le processus de compression d'images aux applications de transmission sans fil sur des canaux radio. D'autres contributions ont proposé des solutions analogues basées sur le décodage conjoint source-canal à entrées pondérées. L'idée principale d'un tel schéma est de permettre aux deux décodeurs

de source et de canal d'exploiter des informations additionnelles afin de réduire le taux d'erreurs et d'améliorer, ainsi, les performances en réception. Les auteurs de [7] proposent un système de décodage conjoint mettant en jeu un décodeur LDPC itératif profitant des informations sur la vulnérabilité des bits fournie par le décodeur JPEG2000. De même, une nouvelle technique de décodage à entrées sorties pondérées inspirée de l'algorithme Chase a été appliquée dans [5] pour le décodage arithmétique. Un schéma de décodage itératif entre le décodeur proposé et un décodeur convolutif est ainsi présenté. Les auteurs de [6] se sont focalisés sur l'optimisation globale d'une chaîne de transmission d'images codées RSPIHT (Robust SPIHT) via une approche de protection inégale de données appliquée à une chaîne de communication, intégrant un schéma de décodage itératif conjoint source-canal entre un décodeur arithmétique et un décodeur de canal.

La transmission d'images JPEG2000 sur des canaux fortement perturbés (Rapport Signal à Bruit (RSB)  $\leq 6$  dB) conduit à des détériorations en terme de rendu visuel d'où la migration à la norme JPWL. En dépit de la robustesse de JPWL, ce décodeur est parfois victime de désynchronisation lorsque les erreurs sont trop nombreuses ou mal positionnées surtout pour un canal à faibles valeurs de RSB. Le recours à des techniques de décodage conjoint source-canal, basée sur le décodage à entrées pondérées,

pourrait induire une intéressante amélioration de la qualité de l'image reçue. En effet, le passage d'information pondérée du décodeur de canal au décodeur de source permet de réduire le nombre de trames erronées en tirant partie de toute information supplémentaire disponible à la réception, notamment lors d'une transmission très bruitée. C'est dans cette démarche que nous avons développé une stratégie de décodage à entrées pondérées au sein du décodeur JPWL. Le schéma proposé implique la concaténation en série d'un décodeur de source JPEG2000 à entrées pondérées et d'un décodeur RS, à entrées sorties pondérées. Le but est de tirer profit des fiabilités des bits à la sortie du décodeur RS pour assurer le décodage à entrées pondérées du décodeur arithmétique. Dans notre travail, le décodage conjoint source-canal est réalisé au sein du décodeur JPWL entre le décodeur arithmétique et le décodeur RS. Pour le décodage à entrées pondérées du CA ainsi que du code RS, nous adoptons des algorithmes de Chase modifiés [5]. Pour la pondération des décisions à la sortie du décodeur RS, nous utilisons l'algorithme proposé dans [9]. Pour tester la robustesse du système proposé, nous considérons une transmission sur un canal BBAG (Bruit Blanc Additif Gaussien) ensuite sur un canal de Rayleigh.

La suite du papier est organisée comme suit : la section 2 présente les différentes techniques de décodage pondéré pour le JPWL. Les résultats des simulations du schéma proposé sont présentés en section 3. Enfin, les conclusions et perspectives sont données dans la section 4.

## 2 Algorithmes de décodage pondérés pour JPWL

### 2.1 Décodage à entrées pondérées des CA

JPWL, comme JPEG2000, utilise une succession d'algorithme pour coder une image. Après la transformée en couleur, la transformée en ondelettes (DWT) décompose chaque composante en plusieurs niveaux de résolution, chacune contenant une série de sous-bandes. Après quantification, les coefficients d'ondelettes de chaque sous bande sont répartis en un ensemble réguliers de code bloc. Pour le codage entropique, JPWL utilise un système de codage complexe appelé EBCOT (Embedded Block Coding with Optimal Truncation Points) [10], qui peut être divisé en deux parties. La première partie *Tier1* est principalement responsable de la modélisation de contexte et du codage arithmétique des coefficients quantifiés noté MQ. La fonction de la deuxième partie *Tier2* est de contrôler le taux de compression cible et ainsi former la trame compressée. Le principe du décodeur MQ est présenté dans [11]. Globalement, ce décodeur reçoit des données compressées et au moyen du contexte fourni par l'EBCOT, renvoie un flux de bits décompressé. Tel qu'il a été présenté dans la norme JPWL, le décodeur MQ assure un décodage à entrée fermes. Pour exploiter l'information sup-

plémentaire à l'entrée du décodeur MQ nous adoptons l'algorithme sous optimal de décodage à entrées pondérées des CA, appelé pseudo-Chase, proposé par [5]. Cet algorithme a montré son efficacité à assurer un gain de codage remarquable avec une complexité relativement faible comparé à un système de décodage classique. Nous avons intégré cet algorithme dans la partie décodage du *Tier1* du standard JPWL qui regroupe le décodage des plans de bits et le décodage arithmétique MQ. Pour un décodage JPWL classique, les mots reçus de chaque code bloc sont seuillés puis décodés par le décodeur MQ. Avec la modification proposée, la fiabilité des bits des codes blocs est exploitée pour assurer le décodage à entrées pondérées du décodeur JPWL. Le principe de l'algorithme pseudo-Chase consiste alors, à déterminer, à partir de l'observation, les positions des bits les moins fiables pour chaque code bloc, que l'on note  $q$ , qui serviront par la suite pour la construction des séquences de test. Ensuite, ces dernières seront décodées par le décodeur MQ de JPWL. Seules les séquences valides en termes de longueurs seront gardées. Enfin, la séquence décodée est celle qui est la plus vraisemblable selon le critère MAP (Maximum a Posteriori).

### 2.2 Décodage à entrées sorties pondérées des codes RS

Le codage canal dans la norme JPWL est réalisé par les codes RS. Les principaux paramètres d'un code RS sont  $(n, k)$  où  $n$  est la longueur des mots de codes et  $k$  est la longueur des messages. Les codes RS définis par la norme JPWL permettent un décodage ferme des données reçus. Or, lorsque l'observation à la sortie du canal est disponible, le décodage pondéré pourrait permettre d'avoir un gain intéressant en performances par rapport à un décodage ferme [9]. Pour assurer un décodage à entrées pondérées des codes RS, nous adoptons un algorithme de Chase modifié dont le principe est presque semblable à celui évoqué dans le paragraphe précédent. La principale différence est que pour le décodage à entrées souples des codes RS, on ne parle plus de contrainte de longueur, mais plutôt de la validité des mots de codes issus du décodage des séquences de test par le décodeur RS. Ainsi, la séquence décodée est celle qui est la plus vraisemblable selon le critère MAP, choisie parmi les mots de codes valides ayant un syndrome nul.

En outre, dans le cas d'un décodage conjoint source-canal, il est souhaitable d'avoir des sorties pondérées du décodeur. Soit  $R = (r_1, \dots, r_n)$  le mot reçu à l'entrée du décodeur RS pour une transmission par modulation BPSK. Pour un canal de Rayleigh  $r_j$  peut s'écrire  $r_j = \gamma_j c_j + b_j$ , ( $1 < j < n$ ), où  $C = (c_1, \dots, c_n)$  est le mot émis après modulation BPSK,  $b = (b_1, \dots, b_n)$  est le bruit blanc de variance  $\sigma^2$  et  $\Gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$  un vecteur de coefficients d'atténuation réalisations d'une variable aléatoire de Rayleigh. Rappelons que pour un canal BBAG  $\gamma_j = 1$  quelque soit  $j$ . En sortie du décodeur RS, la fiabilité as-

sociée à chaque élément binaire du mot décodé, est donnée par le Logarithme du Rapport de Vraisemblance [9]:

$$\Lambda_j = \frac{1}{2\sigma^2} \left( d^2(R, C^{min(-1)}) - d^2(R, C^{min(+1)}) \right) \quad (1)$$

où  $C^{min(-1)}$  et  $C^{min(+1)}$  sont deux mots de code  $C$  emis qui sont à distance minimale de  $R$  et tels que  $C_j^{min(-1)} = -1$  et  $C_j^{min(+1)} = +1$  et  $d$  est la distance euclidienne. La formule 1 est démontrée dans le cas BBAG dans [9]. Elle a été classiquement étendue ici au cas du canal de Rayleigh.

### 3 Application à la transmission d'images JPWL

Plusieurs bibliothèques de logiciels libres permettant le codage et le décodage des images au format JPWL sont disponibles. Pour notre travail, nous avons utilisé l'implémentation OpenSource "OpenJpeg". Comme cité, l'objectif primordial de ce papier est d'améliorer les performances d'un système de transmission d'images codées selon la norme JPWL pour des canaux fortement bruités. Le but est, tout d'abord d'intégrer l'algorithme pseudo Chase dans le décodeur arithmétique MQ de JPWL. Ensuite, d'appliquer le décodage conjoint source-canal en assurant le passage d'informations pondérées du décodeur RS au décodeur arithmétique. Pour ce faire, plusieurs modifications ont été apportées au décodeur JPWL pour l'adapter à nos besoins. Pour assurer un bon fonctionnement, l'algorithme pseudo-Chase des CA nécessite la connaissance, au niveau du récepteur, des fiabilités des bits de chaque code bloc ainsi que la longueur de ces derniers avant et après décodage. La première modification consiste alors à récupérer les fiabilités des bits de chaque code bloc au niveau du décodeur. Pour déterminer la longueur des codes blocs après décodage, une investigation au niveau du décodage EBCOT a été effectuée. L'information sur la taille des codes blocs avant décodage peut être récupérée de l'entête de la trame. La deuxième modification concerne le décodage à entrées sorties pondérées du décodeur RS. Pour assurer un tel décodage nous utilisons une version modifiée de l'algorithme Chase. Le décodeur JPWL proposé est alors formé par la concaténation en série d'un décodeur RS à entrées/sorties pondérées et d'un décodeur JPEG2000 à entrées pondérées.

#### 3.1 Contexte de simulation

L'image Lena 512x512 pixels, est compressée par le codeur JPEG2000 délivrant un débit  $D_s$  bits par pixels (bpp). La séquence générée par le codeur est formée des différents codes blocs compressés ainsi que des en-têtes décrivant les paramètres de codage. Les différents codes blocs de chaque résolution sont codés par un code correcteur d'erreurs RS. Pour les simulations, on utilise le code RS(37,32) à faible pouvoir de correction  $t=2$  ce qui conduit à un

débit total de 1 bpp. Deux cas de transmission sont considérés. L'image codée est transmise sur un canal BBAG ensuite sur un canal de Rayleigh rapide, moyennant une modulation BPSK pour assurer la robustesse de la transmission. Nous conservons les paramètres de codage par défaut de l'implémentation considérée de la norme JPWL. Cette implémentation utilise le filtre réversible 5-3 pour l'application de la DWT. Le nombre de niveaux de décomposition est fixé à 6 et la taille des codes blocs est fixée à 64x64. Pour des raisons de simplification, une unique couche de qualité est traitée. Avec ces paramètres de codage, l'image décodée présente un PSNR de 39,3 dB en l'absence de bruit de canal. Au niveau du récepteur, les sorties pondérées du décodeur RS sont appliquées à l'entrée du décodeur arithmétique MQ de la norme JPWL. L'algorithme de Chase que l'on a appliqué au code arithmétique et au code RS utilise des patterns de test avec un poids maximal de  $q = 4$  bits. Les résultats sont évalués en termes de PSNR en fonction du RSB du canal ( $E_b/N_0$ ) qui varie du plus faible au plus fort.

#### 3.2 Résultats et interprétations

La Figure 1 présente les résultats obtenus pour un canal Gaussien. Cette figure représente les courbes correspondantes à un décodage à entrées pondérées des CA sans codeur de canal (courbes (1) et (2)); un décodage à entrées pondérées des codes RS avec décodage arithmétique classique (courbes (3) et (4)); et notre méthode de décodage à entrées pondérées (Courbe (5)). Notons que toutes les courbes sont tracées pour un débit équivalent.

Evidemment, en l'absence de codeur de canal (Courbe (1)), la transmission d'image codée JPEG2000 est sensible aux erreurs de transmission. En effet, pour un rapport signal à bruit  $E_b/N_0 = 8$  dB, une détérioration du PSNR moyen de l'ordre de 17 dB est observée. L'introduction de l'algorithme pseudo-Chase pour le décodage arithmétique (courbe (2)) permet d'améliorer les performances en termes de PSNR par rapport au décodage arithmétique classique (courbe (1)). En effet, l'utilisation du décodage pseudo-Chase réduit le nombre d'erreurs attaquant la trame compressée. Par exemple, avec  $q=4$ , on obtient un gain de l'ordre de 7dB pour  $E_b/N_0 = 9$  dB. Pour des faibles valeurs de RSB, inférieures à 7dB, le pseudo-Chase intégré à la norme JPEG2000 n'apporte pas d'améliorations de performances d'où l'intérêt d'utiliser la norme JPWL. L'application de l'algorithme de Chase modifié au décodeur RS de JPWL permet alors de tirer profit des fiabilités des bits en sortie du canal, d'où une réduction significative des taux d'erreurs par rapport au décodage RS classique : les courbes (3) et (4) représentent le gain apporté par ce décodage à entrées pondérées des codes RS qui atteint 8,31 dB pour  $E_b/N_0 = 6$  dB. Enfin, les performances de notre schéma de décodage conjoint source canal sont présentées par la courbe (5). On observe une amélioration supplémentaire des performances

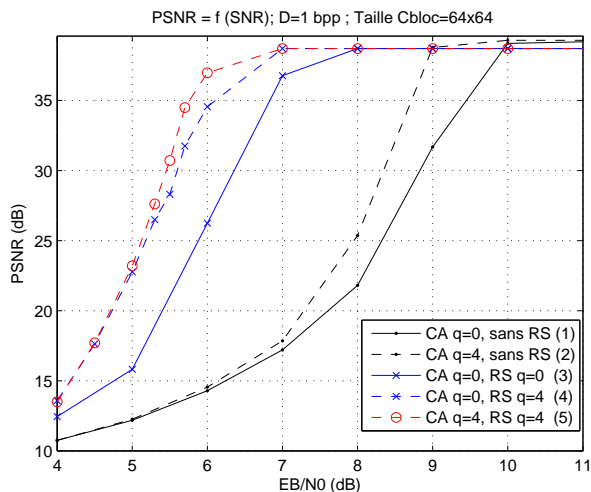


FIG. 1: PSNRs moyens obtenus dans le cas d'une transmission d'images à travers un canal Gaussien.

surtout pour les rapports signal à bruit compris entre 5 dB et 7 dB. En effet, le passage d'information du décodeur RS à sorties pondérées au décodeur arithmétique pseudo-Chase apporte un gain de l'ordre de 2,4 dB pour  $E_b/N_0=5,5$  dB.

Pour un canal de Rayleigh (Fig 2), le gain apporté par le décodage à entrées pondérées des CA sans codeur de canal (courbes (1) et (2)) ainsi que celui apporté par le décodage à entrées pondérées des codes RS avec décodage arithmétique classique (courbes (3) et (4)) est aussi intéressant que celui trouvé avec un canal Gaussien. Notre système de décodage à entrées pondérées (courbe(5)) apporte, quant à lui, un gain de l'ordre de 5dB pour  $E_b/N_0=10$ dB. Finalement, pour le décodage à entrées pondérées, le gain obtenu avec un canal de Rayleigh est plus intéressant que celui trouvé avec un canal Gaussien. Cela peut s'expliquer par le fait que la répartition des erreurs dans la trame transmise montre que pour un canal de Rayleigh les erreurs sont réparties sur toute la trame. Ainsi, le nombre d'erreurs par code bloc est inférieur au pattern de test choisi  $q$ , d'où une meilleure efficacité de l'algorithme pseudo-Chase appliqué au décodeur arithmétique. Les performances de l'algorithme pseudo-Chase sont d'autant meilleures que le nombre d'erreurs par code bloc ne dépasse pas la valeur de  $q$ . Dans ce cas, le décodage pseudo-Chase engendre une amélioration des performances en réduisant le nombre de blocs erronés dans l'image reconstruite.

## 4 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons évalué les performances correspondantes à un système de décodage conjoint source-canal appliqué à la norme JPWL basé sur les techniques de décodages à entrées pondérées. Les résultats en termes de PSNR moyen ont montré une nette amélioration des performances par rapport à un système de décodage ferme

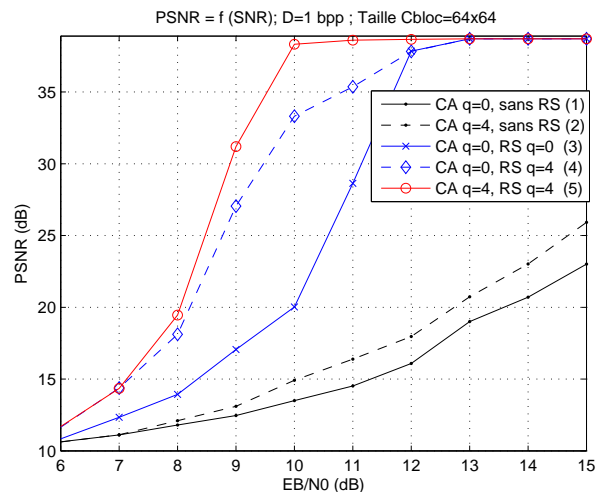


FIG. 2: PSNRs moyens obtenus dans le cas d'une transmission d'images à travers un canal de Rayleigh.

que ce soit dans le cas d'une transmission sur un canal Gaussien ou sur un canal de Rayleigh. Un prolongement de ce travail sera de reconsidérer notre méthode dans le cas de systèmes MIMO.

## 5 Remerciements

Ce travail a été financé par la bourse d'excellence Eiffel et une Action Intitative ERIA (Equipes de Recherche International Associées) de l'Université de Poitiers.

## References

- [1] M. Grangetto, B. Scanavino, G. Olmo et S. Benedetto, "Iterative decoding of serially concatenated arithmetic and channel codes with JPEG2000 applications", *IEEE Trans. Image Process*, vol. 16, no. 6, pp. 1557–1567, Jun. 2007.
- [2] T. Guionnet and C. Guillemot, "Soft decoding and synchronization of arithmetic codes: application to image transmission over noisy channels", *IEEE Trans. Image Process*, vol. 12, no. 12, pp. 1599–1609, Dec 2003.
- [3] D. Nicholson, C. Lamy-Bergot, X. Naturel, C. Poulliat, "JPEG 2000 backward compatible error protection with Reed-Solomon codes", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol.49, pp.855-860, 2003.
- [4] F. Dufaux, F. Baruffa, G. Frescura, D. Nicholson, "JPWL - an extension of JPEG 2000 for wireless imaging", *IEEE ISCAS*, Mai 2006.
- [5] S. Zaibi, A. Zribi, R. Pyndiah, and N. Aloui, "Joint source/channel iterative arithmetic decoding with JPEG2000 image transmission application", *Eurasip*, Mai 2012.
- [6] M. Mhamdi, A. Zribi, S. Zaibi, C. Perrine, Y. Pousset, R. Pyndiah et C. Olivier, "Codage conjoint source-canal optimisé avec décodage itératif pour la transmission d'images RSPiHT", *GRETSI*, Brest, France, Sep. 2013.
- [7] L. Pu, Z. Wu, A. Bilgin, M. W. Marcellin et B. Vasic, "LDPC-based iterative joint source-channel decoding for JPEG2000", *IEEE Trans. Image Process*, vol. 16, no. 2, pp. 577–581, Feb. 2007.
- [8] S. Bahmani, I.V. Bajic et A. HajShirmohammadi, "Joint Decoding of Unequal Protected JPEG2000 bitstreams and reed-solomon codes", *IEEE Trans. Image Process*, vol. 19, no. 10, pp. 2693–2704, Oct. 2010.
- [9] O. Aitsab et R. Pyndiah, "Performances des Turbo-codes en blocs Quaires (Reed-Solomon)", *Gretsi*, Juan-les-Pins, France, Sept 1995.
- [10] D.S. Taubman, "High performance scalable image compression with EBCOT", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 7, pp. 1158–1170, Jul. 2000.
- [11] *Proposal of the Arithmetic Coder for JPEG2000*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N762, Mar. 1998.