

Simulation d'une chaîne de communication adaptée à la transmission d'images fixes sur canal réel

B. Souhard¹ C. Chatellier¹ C. Olivier¹

¹ Laboratoire SIC (Signal, Image et Communication)

UMR CNRS 6615, Université de Poitiers
Bât. SP2MI, téléport 2, boulevard Marie et Pierre Curie, B.P. 30179,
86962 Futuroscope Chasseneuil cedex – France

{souhard, chatellier, olivier}@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Résumé

Dans cet article, nous présentons les résultats concernant nos travaux relatifs à la transmission d'images fixes sur canal bruité. Les résultats sont obtenus d'une part, à partir d'une chaîne de transmission numérique développée au laboratoire IRCOM-SIC et d'autre part, à partir d'un système de transmission Haute Fréquence qui utilise le canal ionosphérique comme support de transmission. Nos travaux avancent de façon conjointe du fait que nous tenons compte à la fois du type de codage source, du type de codage canal, du style de modulation numérique ainsi que des caractéristiques du canal de transmission. Notre objectif est de trouver le système le plus performant en terme de qualité visuelle de l'image à la réception. Des résultats obtenus par plusieurs chaînes de transmission d'images fixes sont présentés. Pour un type de codage source et un code correcteur d'erreurs approprié, nous obtenons une perte minimale, en terme de PSNR, de 0,03 dB par rapport à l'image originale transmise sur un canal de Gauss modulée par une MAQ-256 avec un Taux d'Erreur Binaire (TEB) de 3.10^{-3} .

Mots clefs

Transmission numérique, codes correcteurs, compression, codage conjoint.

1 Introduction

Dans le cadre de nos travaux, nous abordons le problème de la transmission d'images sur un canal perturbé.

L'objectif est de concevoir un système de transmission d'images fixes qui conserve une bonne qualité en réception même en présence d'erreurs de transmission. La démarche consiste à optimiser conjointement les différentes fonctions de la chaîne de transmission en allant de l'émetteur vers le destinataire.

Dans une première partie nous testerons la robustesse des codages sources couramment utilisés ainsi qu'une

amélioration de la ISO JPEG2000 consistant à sélectionner la zone-morte dans chaque sous-bande en se basant sur un modèle statistique simple pour les coefficients ondelettes. Ensuite sur ces différents codeurs sources, nous utiliserons un code correcteur d'erreurs afin d'améliorer les performances.

En parallèle, nous utiliserons une méthode de restauration d'images par Équations aux Dérivées Partielles (EDP), avec comme principal but de réduire les dégradations dues aux erreurs de transmissions.

Enfin, dans la troisième partie, nous présenterons un système de transmission Haute Fréquence qui utilise le canal ionosphérique comme support de transmission.

2 Le simulateur

Le simulateur que nous avons développé permet d'évaluer la qualité d'une image reçue en fonction d'une configuration système de la chaîne de transmission. Les paramètres principaux sont les types de codages source, du codage canal, de modulation numérique ainsi que les caractéristiques du canal de transmission.

2.1 Modulation numérique et canal de transmission

Les modulations numériques linéaires simulées sont de type MDP et MAQ. Afin de pouvoir comparer les performances de ces différentes modulations, nous définissons $\lambda = d'/d$, comme le rapport entre les distances inter symboles de deux modulations. Ce paramètre est utilisé de façon à avoir la même puissance d'émission pour un rapport signal à bruit donnée:

$$\lambda = \sqrt{\frac{3m}{2^{2m} - 1}}$$

où m désigne le nombre de bits par symboles émis.

Le milieu de transmission, quant à lui, désigne le canal physique sur lequel se propagent les signaux générés par le modulateur. Le modèle de canal utilisé dans ce papier est le canal de Gauss.

2.2 Codage source

Pour notre étude de chaîne de transmission optimisée, nous utilisons les codages de source classiques avec pertes, JPEG [1], SPIHT [2] et JPEG2000 [3], ainsi que des techniques de quantification vectorielle (QV). Notre QV est effectuée à l'aide de l'algorithme de Lloyd Buzo Gray (LBG) [4] ainsi que des cartes topologiques de Kohonen (SOFM : *Self Organization Feature Map*) [5]. Nous avons également étudié une optimisation de la zone-morte dans la norme JPEG2000 (WTCQ-SA) [6].

2.2.1 Le codage WTCQ-SA

Plusieurs techniques de quantification ont été fournies dans JPEG2000. En particulier, la partie II de ce standard inclut la zone-morte avec quantification scalaire uniforme ou la quantification en treillis (WTCQ). Dans [6], Ouled Zaid et al. proposent d'incorporer dans la chaîne de codage JPEG2000 une opération de seuillage adaptatif afin de raffiner le choix du quantificateur ou de réduire l'erreur de déquantification. Leur approche consiste à sélectionner de manière intelligente la taille de la zone-morte pour chacune des sous-bandes, pour mettre à zéro les coefficients transformés insignifiants qui ne méritent pas d'être transmis avant de passer à l'étape de quantification. Après la mise à zéro des coefficients appartenant à la zone-morte, les coefficients retenus sont quantifiés en utilisant la quantification en treillis. Cette technique de codage d'image est basée sur la distribution des statistiques des coefficients en ondelettes. Leurs résultats de codage prouvent qu'en incorporant leur technique de seuillage adaptative dans la chaîne de codage JPEG2000, ils peuvent améliorer ses performances au sens du débit / distorsion. L'amélioration du PSNR peut atteindre 0,6dB sans augmenter significativement la complexité de calcul.

2.2.2 Le codage JPEG, SPIHT et JPEG2000

La norme de compression JPEG permet d'obtenir une très bonne qualité d'image pour des taux de compression supérieurs à 0,75 bit/pixel. Ces bonnes performances sont dues à la combinaison de plusieurs techniques de compression, parmi lesquelles le codage entropique. Malheureusement, ce dernier est très sensible aux erreurs de transmission. La Figure 2.a montre l'image compressée tandis que la Figure 3.a montre la dégradation de l'image reconstruite à partir des données JPEG entachées d'erreurs de transmission. La qualité de l'image reconstruite se dégrade énormément bien que le TEB soit de $5 \cdot 10^{-4}$. Il en va de même pour les codecs JPEG2000 (Figures 2.b et 3.b), SPIHT (Figures 2.c et 3.c) et WTCQ-SA (Figures 2.f et 3.f).

Le problème du codage source robuste aux erreurs de transmission a été étudié entre autres par [7] qui propose d'optimiser la QV et la modulation pour minimiser l'effet des erreurs de transmission en utilisant les propriétés des dictionnaires SOFM.

2.2.3 La quantification vectorielle

L'utilisation de la quantification vectorielle donne de meilleurs résultats lorsque nous souhaitons effectuer de la transmission numérique réelle (avec erreurs). En fait, l'utilisation du dictionnaire issu des cartes topologiques de Kohonen est mieux approprié à la transmission numérique car la disposition des éléments d'un dictionnaire sur les points d'une modulation numérique minimise la distorsion moyenne lors de la transmission des éléments du dictionnaire [8].

Dans notre étude, les dictionnaires sont des dictionnaires bidimensionnel à $Q = 256$ éléments où chaque élément est une imagerie de taille 3×3 soit un vecteur de dimension $d = 9$. Les éléments du dictionnaire sont ensuite rangés dans une matrice (16×16) et chaque élément du dictionnaire est repéré par un couple d'entiers $0 \leq (i, j) \leq 15$ comme le montre la Figure 1. Afin de minimiser la distorsion moyenne lors de la transmission des éléments du dictionnaire, il faut associer les éléments du dictionnaire aux points de la constellation, en superposant les symboles de la modulation (MAQ- M) sur le dictionnaire bidimensionnel. Cette solution est optimale lorsque les deux ensembles sont compatibles (un indice du dictionnaire correspond à un symbole de la modulation), dans notre cas d'étude, la modulation à adopter est de type MAQ-256.

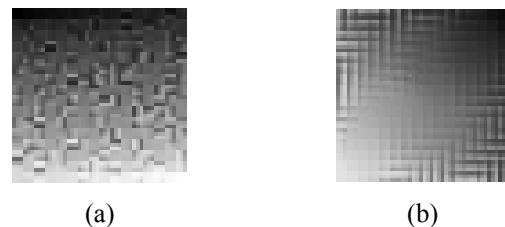


Figure 1 – Images de dictionnaires réalisés à partir des algorithmes LBG (a) et SOFM (b)

2.2.4 Résultats expérimentaux

Seules les données des fichiers JPEG, JPEG2000, SPIHT et WTCQ-SA correspondant au codage de l'image ont été perturbées. Les en-têtes des fichiers n'ont pas été altérés. Pour comparer nos résultats, nous avons considéré l'image de référence *Lena*. C'est une image 510×510 pixels, chaque pixel est codé sur 256 niveaux de gris (8 bits/pixel).

La Figure 2 représente l'image reconstruite après codage/décodage des différentes techniques de compression. Le taux de compression R_c est de 9 (soit un nombre moyen de 0,88 bits/pixel).

Les codeurs sources JPEG, JPEG2000, SPIHT et WTCQ-SA permettent d'obtenir de meilleurs résultats en terme de PSNR vis à vis des algorithmes LBG (Figure 2.d) et SOFM (Figure 2.e). Cependant, comme le montre la Figure 3, ces quatre codeurs sont inappropriés pour

construire un système de transmission d'images robuste aux erreurs de transmission.

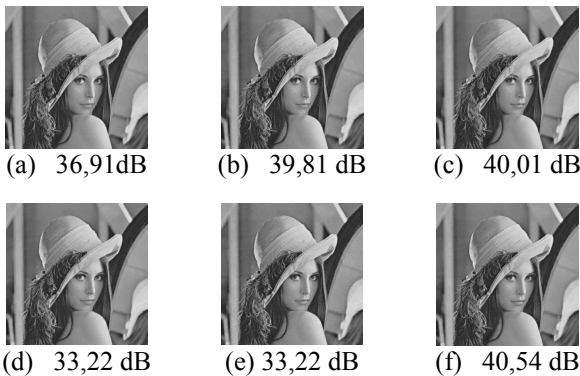


Figure 2 – Compression de l'image test Lena

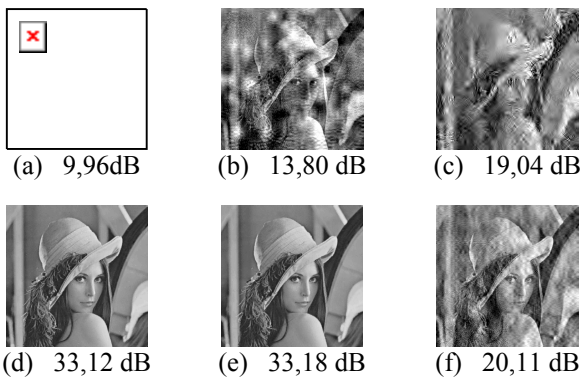


Figure 3 – décompression de l'image test Lena en présence d'erreurs de transmission

Les images issues de la Figure 3 présentent des dégradations très visibles bien que le Taux d'Erreurs Binaires (TEB) ne soit que de 5.10^{-4} .

2.2.5 Restauration des images reçues

Nous réalisons ici un post traitement destiné à atténuer ces dégradations. Nous utilisons pour ceci la méthode de restauration d'images compressées de Bourdon et al. [9]. Celle-ci se base sur le filtre non-linéaire de Perona-Malik [10], et permet d'atténuer les dégradations dues à la compression et aux erreurs de transmissions tout en conservant les contours des images, par lissage suivant localement une direction privilégiée (diffusion anisotrope). L'originalité de la méthode de Bourdon est l'utilisation d'un seuil de diffusion permettant de fixer un degré d'anisotropie, et d'adapter les paramètres de lissage aux dégradations de l'image.

On remarque sur les Figures 4.d et 4.e, une augmentation du PSNR de 0,54 dB dans le cas le plus favorable. Toutefois, pour les autres techniques de compression, les dégradations sont toujours aussi nettes.

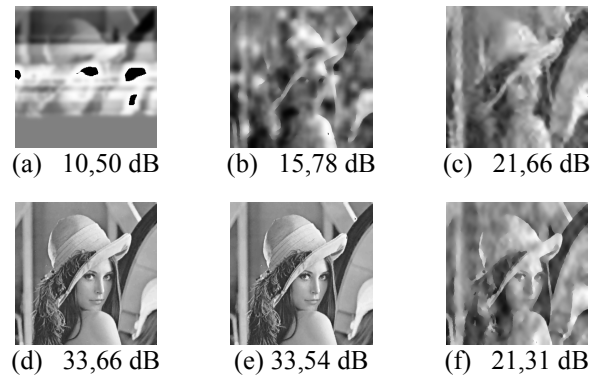


Figure 4 – Restauration par EDP des images reçues

Une alternative à l'augmentation du rapport signal sur bruit, consiste à utiliser un code correcteur d'erreurs.

2.3 Codage canal

A l'inverse du codage source, le codage canal introduit de la redondance. Dans le cadre ce papier, nous avons privilégié les codes cycliques de Reed Solomon (RS).

Les codes de Reed Solomon sont constitués d'éléments q -aires où q est égal à 2^m . Chaque élément q -aires d'un code RS peut donc être représenté par un mot de m -uplet d'éléments binaires. Un code RS de paramètres (15,11,5) ayant un pouvoir de correction $t=2$ et $m=4$, ne pourra pas corriger 8 éléments binaires si ces 8 éléments binaires sont repartis sur plus de 2 éléments du code.

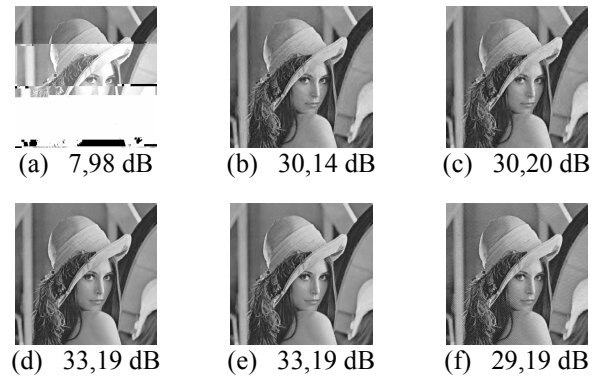


Figure 5 – décompression de l'image test en présence d'un code correcteur RS (255,223,33)

Les codes RS(255,223,33) sont bien adaptés pour une modulation MAQ-256 car ils permettent de corriger 16 mots de 8-uplet alors que les points de la constellation sont constitués par des 4-uplets. L'intérêt de ce code correcteur permet alors de corriger entièrement un point de la constellation erroné.

La Figure 5 représente les images reçues avec un TEB de 3.10^{-3} . La Figure 6 montre la restauration de ces images avec les EDP qui permettent d'obtenir, en terme de qualité, une image proche de l'image originale.

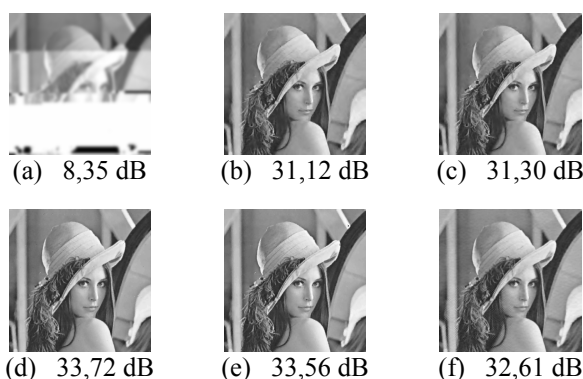


Figure 6 – Restauration des images reçues avec une technique de correction d'erreurs

3 Systèmes de mesures réelles

Des résultats ont été obtenus dans le cadre d'un système de transmission réel appelé TRILION ("TRansmission d'Images par Liaison IONosphérique") [11]. Le but de cette liaison est d'établir une liaison large bande dans la bande H.F. afin de réaliser une ligne de vidéoconférence en temps réel entre Poitiers et Rennes (250 km). Dans la configuration de TRILION, le capteur est un ensemble de 8 antennes colocalisées suivies de 8 récepteurs identiques qui transposent les signaux HF reçus sur une fréquence intermédiaire de 30 KHz. Les techniques utilisées tant pour la synchronisation (*zero crossing detector*) que pour la séparation des sources (algorithme LMS) sont des solutions classiques et éprouvées faisant appel à des séquences d'apprentissage. Ces solutions classiques et robustes, mises en œuvre dans ce contexte de réception multivoies, permettent de garantir, pour un débit numérique de 15kbit/s dans une bande spectrale de 3kHz, un taux d'erreur binaire moyen s'abaissant jusqu'à 5.10^{-3} . Une campagne de mesures a débuté en Septembre et depuis nous sommes dans l'attente de résultats du côté réception de la part du laboratoire de Rennes.

4 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons traité du problème de la transmission de l'information sur un canal perturbé en utilisant différentes techniques de compression et de correction. Nous avons montré l'intérêt d'optimiser conjointement du codage de source et de la transmission dans le cas d'un canal bruité. Le codage de source est réalisé par quantification vectorielle avec un dictionnaire auto-organisé suivant les algorithmes SOFM et LBG. En présence d'erreurs de transmission, la robustesse de ces solutions diminue mais reste supérieure à celle des autres codages sources existant à l'heure actuelle (JPEG, JPEG2000, SPIHT et WTCQ-SA). Nous avons ensuite inséré un code correcteur entre le codeur de source et la modulation. Nous avons montré qu'il est possible de

maintenir la robustesse aux erreurs de transmission en présence d'un codage de canal.

Nous envisageons d'approfondir nos recherches du point de vue codage conjoint car à l'heure actuelle nous faisons un décodage de source ferme qui ne nous permet pas d'exploiter entièrement l'information issue du canal. De plus, il nous reste à trouver une méthode qui nous permettrait de descendre à bas débit pour être en concordance avec notre système de transmission ionosphérique (TRILION).

Références

- [1] G.K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard, *Communications of the ACM*, Avril, 1991, pp. 35.
- [2] A. Said et W.A. Pearlman. A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 6, pp. 243-250, June 1996.
- [3] M. Rabbani et R. Joshi. An overview of the JPEG2000 Still Image Compression Standard. *Signal processing: Image communication Journal*, volume 17, n°1, octobre 2001.
- [4] Y. Linde, A. Buzo, et R.M. Gray. An algorithm for vector quantizer design, *IEEE Trans. Comm.*, COM-28, pp 84-95, January 1980.
- [5] T. Kohonen. Self organization and associative memory. *Collection Springer series in information sciences*. Springer, Berlin, Allemagne, 2^{ème} édition, 1984.
- [6] A. Ouled Zaid, C. Olivier et F. Marmoiton. Codage d'images par ondelettes : optimisation de la zone-morte dans la norme JPEG2000, *MediaNet 2002*, 17-21 Juin, 2002, Sousse, Tunisie, pp 199-208.
- [7] D. S. Bradburn. Reducing transmission error effects using self-organizing network. *Proceedings IJCNN'89*, vol II, 1989, Piscataway, NJ, pp 531-537.
- [8] O. Aitsab, R. Pyndiah et B. Solaiman. Optimisation conjointe d'un codeur source et d'une modulation codée pour la transmission numérique d'images sur canal bruité, *GRETSI'97*, pp 1067-1072, Grenoble, Septembre 97.
- [9] P. Bourdon, B. Augereau, C. Olivier et C. Chatellier. Une méthode de restauration d'images compressées JPEG2000 basée sur les EDP. *Actes de la conférence CORESA'03*, Lyon, Janvier 2003.
- [10] P. Perona et J. Malik. Scale-space and edga detection using anisotropic diffusion. *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(7) : 629-639, 1990.
- [11] A. Bisiaux, L. Bertel, C. Barrat et D. Lemur, Trilion project : transmission of images through the ionosphere, *IEE Radio systems and techniques*, July 2000, pp 1-5.