

Transmission prioritaire JPEG2000 sur lien sans fil

Benoît Parrein, Nicolas Normand, Patrick Le Callet
IRCCyN / IVC, École polytechnique de l'université de Nantes,
rue Christian Pauc, 44306 Nantes cedex 3, FRANCE

Benoit.Parrein@univ-nantes.fr, Nicolas.Normand@univ-nantes.fr, Patrick.Lecallet@univ-nantes.fr

Abstract – This paper presents an instance of priority encoding transmission system based on an exact and discrete Radon transform called the Mojette transform. The system includes an optimization process constrained jointly by the hierarchy of the source and by the channel property. In the framework of JPEG2000 image wireless transmission, the hierarchy is characterized by an objective quality evaluation which is well correlated with the human judgement and the channel estimation is realized by an exponential loss profil. The solution is compared with the system of JPEG2000 WireLess (JPWL) based on the PSNR criteria and the Reed-Solomon codes.

1 Introduction

La norme JPEG2000 étend dans sa partie 11 le processus de compression d'image aux aspects de transmission sans fil de manière à architecturer un véritable système multimédia communicant sur des canaux radio. Outre le cœur du système de codage normalisé, la transmission JPEG2000 WireLess (JPWL) propose une protection inégale pilotée par de l'information sémantique renseignant sur la sensibilité aux erreurs de transmission pour chaque portion de flux codé. Dans cette perspective, le codage de source n'a plus seulement pour objet une optimisation débit-distorsion mais également un apport en termes de fonctionnalités et d'interactivité (JPIP) ainsi qu'une adaptation à un milieu communicant spécifique. Pour cette dernière, le document de travail [1] propose une protection inégale concentrée sur les en-têtes principaux et de tuile partant du fait que toute erreur à ces niveaux à un effet rédhibitoire sur le flux image. La sensibilité aux erreurs est caractérisée par le PSNR et des codes correcteurs classiques de type Reed-Solomon sont appliqués à un niveau symbole pour réaliser cette protection. Dans [2], les codes (160,64), (80,25) et (40,13) sont mis en œuvre ce qui se traduit par des taux de redondances respectifs de 1,50 à 2,20 ajoutés aux quelques 500 octets des en-têtes. Cette très forte protection améliore manifestement les probabilités de succès au décodage lorsque des pertes binaires surviennent puisqu'elle garantit l'intégrité des en-têtes que le canal affiche de bonnes ou de très mauvaises propriétés. Cependant, l'évaluation des performances et la protection au niveau des symboles sont fortement éloignées des canaux réels sans fil vus par exemple au travers des déclinaisons du protocole IEEE802.xx (WLAN ou WiMax). Plus précisément, l'approche en cours de normalisation ne considère à aucun moment l'efficacité des mécanismes opérés au niveau des couches Multiple Access Control (MAC) et physique (PHY) tels que les ARQ (Automatic Request Query) hybrides mêlant codage (turbo-code) et retransmission ni la recherche exploratoire effectuée depuis une dizaine d'années sur la protection inégale [3] ou encore les nouvelles représentations basées sur une description multiple de l'information [4]. Dans ce papier,

nous considérons les deux couches PHY et MAC efficaces à délivrer des symboles intègres de manière à nous consacrer exclusivement à la protection inégale au niveau paquet de la hiérarchie de la source pilotée par une méta-information sémantique pertinente.

2 Présentation du système de protection inégale

Ce système de protection inégale a pour objectif de supporter la hiérarchie de la source de façon transparente pour le canal. Les paquets (ou descriptions) engendré(e)s doivent être de même importance en termes de reconstruction. On parle de banalisation des paquets. Cette opération peut être faite à l'aide de l'opérateur Mojette qui effectue des projections d'un espace discret 2D vers un ensemble 1D plus ou moins redondant. Plus de résultats en termes de restructibilité et de performances sont disponibles au lecteur dans [6]. Pour la suite, les projections Mojette ou paquets sont autant de descriptions banalisées disponibles pour la couche MAC.

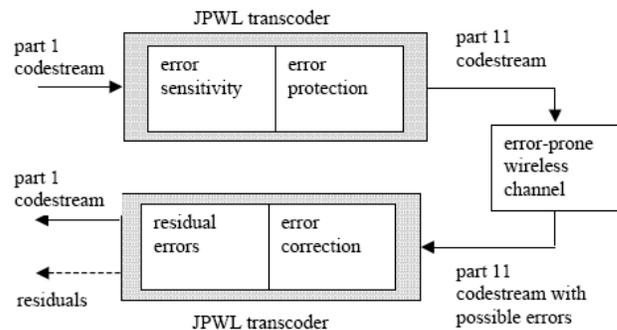


FIG. 1 – Le schéma général de la protection inégale est extrait de [1] dans sa partie transcodage. Elle implique une description de la sensibilité aux erreurs et une protection aux erreurs réalisés respectivement dans ce papier à l'aide d'un critère perceptuel et de la transformation Mojette.

2.1 Allocation de redondance optimale

De manière simple, la transformation Mojette peut fournir une description redondante de l'information initiale. En effet, à un sous-ensemble suffisant de projections, peut s'adjoindre un nombre de projections supplémentaires qui réalisent la protection puisqu'elle autorise la perte du même nombre. L'allocation de redondance optimale a pour objet de déterminer ce nombre de projections supplémentaires en fonction de la description de la sensibilité aux erreurs (ESD) et de la probabilité de recevoir l'information initiale. Dans le cas d'une source scalable, décomposable en sous-flux, l'optimisation est effectuée de manière globale pour obtenir pour chaque sous-flux le nombre de projections nécessaires ce qui réalise la protection inégale. L'allocation de redondance est déterminée par la fonction ρ fonction qui associe à un sous-flux le nombre de projections nécessaire à sa reconstruction. Soit s l'indice des flux allant de 1 à L , la structure emboîtée de la source suppose que le sous-flux s n'est utilisable que si le sous-flux $s - 1$ est reconstruit, ce dernier nécessite donc au plus autant de projections que le sous-flux s et la fonction ρ est donc croissante. La fonction ρ optimale est celle qui maximise la qualité en termes d'espérance mathématique de la qualité reconstruite au décodeur :

$$E(Q) = \sum_{t=1}^L p_{\rho(t)} Q_t = \sum_{t=1}^L \left(p_{\rho(t)} \sum_{s=1}^t q_s \right) \quad (1)$$

$$= \sum_{s=1}^L \left(q_s \sum_{t=s}^L p_{\rho(t)} \right) = \sum_{s=1}^L c_{\rho(s)} q_s, \quad (2)$$

où p_n est la probabilité de recevoir exactement n projections, c_n est la probabilité de recevoir au moins n projections : $c_n = \sum_{i=n}^L p_n$; Q_n est la note de qualité associée à l'image reconstruite des sous-flux 1 à n ; q_s représente l'incrément de qualité apporté par le sous-flux s : $q_s = Q_s - Q_{s-1}$. En pratique, le calcul considère l'évolution de $E(Q)$ engendrée par l'insertion d'un sous-flux pour chaque valeur licite de redondance.

Cette maximisation de l'espérance mathématique de la qualité constitue le lien entre le codage source et le codage de canal en considérant conjointement les propriétés de la source (incrément de qualité) et la voie de retour canal (probabilités de réception).

2.2 Évaluation objective des incréments de qualité

L'évaluation automatique de qualité visuelle d'images ayant subi des dégradations est un problème complexe. Dans la littérature, le PSNR est trop souvent le seul critère objectif de qualité utilisé alors qu'il est bien connu qu'un tel critère n'est pas suffisamment corrélé avec le jugement humain. Nous développons dans le laboratoire des métriques bien plus performantes en nous appuyant sur une modélisation fine du système visuel humain [7]. Dans le cadre de ce travail, nous utilisons une métrique bien adaptée aux dégradations liées à une compression JPEG 2000. Le critère consiste d'abord à projeter une image de

référence et sa version dégradée dans un espace perceptuel de manière à normaliser les différences en fonction de leur seuil de visibilité. L'espace perceptuel inclut la prise en compte de la perception des couleurs et des effets de masquage. L'étape clé suivante combine les erreurs de manière à fournir une seule note de 0 à 5. La manière d'opérer cette combinaison est ici adaptée au cas JPEG 2000. À l'aide de ce critère, on peut donc déterminer les incréments de qualité apportés par chaque sous-flux en comparant l'image de référence à sa version reconstruite exploitant les sous-flux disponibles. Dans ces conditions, une comparaison des courbes débit-distortion obtenues en utilisant le PSNR d'une part, et le critère objectif d'autre part, montre clairement les insuffisances du critère PSNR.

2.3 Code correcteur géométrique Mojette

Partant de l'optimisation précédente, nous disposons pour chaque sous-flux de la redondance allouée à savoir du nombre de projections nécessaires pour reconstruire progressivement l'information initiale hiérarchisée. Cette reconstruction repose sur le critère de Katz qui impose sur un support rectangulaire de largeur P et de hauteur Q et pour des angles (p_i, q_i) de vérifier au moins une de ces deux conditions :

$$\sum_i |p_i| \geq P \text{ ou } \sum_i |q_i| \geq Q. \quad (3)$$

Le choix des angles est dicté par l'équivalence des projections en termes de reconstruction et par la vérification du critère de Katz dans la seule direction verticale. Pour ce faire, les angles de type $(p_i, 1)$ pour $i = 1, \dots, N$ sont retenus. De cette manière, sur N projections envoyées, M_s projections parmi N sont nécessaires et suffisantes pour reconstruire le flux s . Dès lors sachant M_s et la taille des sous-flux, des supports 2D sont constructibles pour chaque flux s . Dans ce cadre appliqué à la transmission, ces supports agissent comme des mémoires tampons qualifiées de géométriques. De capacité égale aux flux qu'elles protègent, ces mémoires tampon ont des niveaux de reconstruction qui diffèrent en fonction des niveaux de priorité. L'exemple de la figure 2 illustre le procédé. Elle fait état d'une transmission avec trois mémoires tampons géométriques correspondant à trois niveaux de priorités. Sur les quatre projections envoyées $\{p_{-2,1}, p_{-1,1}, p_{0,1}, p_{1,1}\}$, deux projections (respectivement trois et quatre) sont nécessaires pour reconstruire la mémoire tampon un (resp. deux et trois).

3 Application à la transmission d'une image

3.1 Résultats

Notre application concerne la transmission de l'image test 'Lena' en niveau de gris de dimension 512×512 . Un modèle de perte de paquet exponentiel est retenu pour valider notre approche en environnement sans fil. Un codage avec perte JPEG2000 est appliqué à l'image test avec un

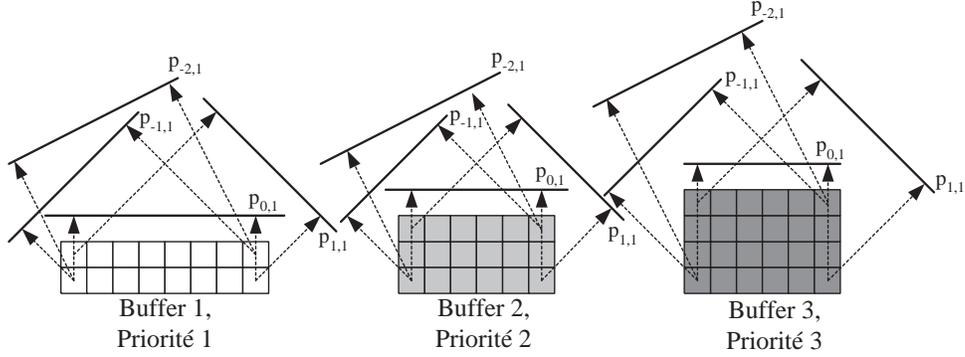


FIG. 2 – Exemple de protection inégale mettant en jeu trois mémoires tampons géométriques pour quatre angles de projection. Deux projections (respectivement trois et quatre) sont nécessaires pour reconstruire la mémoire tampon un (resp. deux et trois).

débit cible de 0,5 bpp, 5 niveaux de décomposition ondelette et seulement 2 couches de qualité de manière à limiter le nombre de paquets JPEG2000 dans cet exemple. Au nombre de 12, ils concernent chacun une couche de qualité, un niveau de décomposition (incluant la sous-bande LL), une composante. À chaque paquet est affectée une note objective de qualité correspondant à son décodage et à celui des paquets en amont du flux. Considérant les paquets vides fournis par le codage arithmétique et les paquets n'apportant pas significativement d'incrément de qualité, on procède à une agrégation des paquets afin d'obtenir les sous-flux source hiérarchisés par leur note objective. De cette façon, six sous-flux sont retenus qui correspondent à l'agrégation des paquets 1, 2 et 3, au paquet 4, au paquet 5, à l'agrégation des paquets 6, 7 et 8, au paquet 9, au paquet 10 et à l'agrégation des paquets 11 et 12. Le tableau 1 résume la constitution des sous-flux source.

À partir de cette description grabuable de la source, on effectue l'allocation optimale de redondance décrite au §2.1 au regard des incréments de qualité et du profil exponentiel de perte. La protection inégale s'applique alors sur l'ensemble du flux (en-tête et données images). Elle se caractérise dans le cas d'un code géométrique Mojette par un nombre de projections suffisantes parmi un nombre N de projections envoyées. De l'ordre de grandeur du nombre de paquets JPEG2000, N est fixé ici à 16 projections. Initialement, aucun des sous-flux n'est transmis se traduisant par un indice de protection à $N+1$. Le nombre de projections suffisantes pour reconstruire chaque sous-flux est décrémenté. L'espérance de la note objective qualité correspondant à la protection inégale et à un profil exponentiel de perte est calculée. La figure 3 résume la procédure pour une valeur de perte de paquet moyenne égale à 10%. Les différentes singularités (au nombre de six) correspondent à la décision du système de protection d'ajouter à la transmission un nouveau sous flux pour atteindre l'objectif de qualité. Une lecture selon l'axe des ordonnées permet de fixer un seuil de qualité acceptable et d'obtenir la protection inégale à réaliser. Par exemple, une note de 4,51 peut être obtenue par une protection de type 11-11-12-12-13-17 représentant pour chacun des six sous-flux le nombre de projections suffisantes. Le dernier sous-flux n'est ici pas transmis pour remplir cet objec-

tif. La taille des projections est de 843 octets pour un débit global du codage conjoint source canal de 0,41 bpp. De même, une lecture selon l'axe des abscisses est possible lorsque un débit maximal est stipulé par le canal. Si une redondance de 5% est tolérée pour la protection de la source JPEG2000 i.e 0,535 bpp en débit global la qualité espérée est de 4,62 avec une protection de type 8-8-10-10-10-17. Dans cet exemple, la perte de la moitié des projections est compensée en vue de reconstruire les flux 1 et 2.

3.2 Performances

La faible densité des relations de parités autorise un décodage itératif rapide par la transformation Mojette inverse. Les sous-flux prioritaires sont reconstruits naturellement en premier. Contrairement au codage JPEG2000 sans protection, la perte des premières projections n'est pas réhilitoire pour le décodage. Les dégradations sont progressives quelle que soit la position de l'effacement dans le flux. Les projections ont une même capacité de reconstruction. En cela, on se rapproche des codes MDS (Maximum Distance Separable) auxquels les codes Reed-Solomon appartiennent. Pour ce codage M mots du code parmi N suffisent pour reconstruire le message. Le schéma présenté est de type $(1 + \varepsilon)$ MDS où ε représentant le sur-débit nécessaire au décodage est de l'ordre de 1% pour la transmission d'une image couleur 512×512 pour une complexité linéaire avec les symboles d'informations et le nombre de projections en $\mathcal{O}(IN)$. Par ailleurs, la protection appliquée au niveau des paquets JPEG2000 nous autorise une fine granularité de protection contrairement aux approches par codes correcteurs classiques [5].

4 Conclusions

Dans ce papier, nous avons présenté une réalisation de transmission prioritaire JPEG2000 sur un modèle de lien sans fil par codage géométrique Mojette. On démontre par l'application que la remontée d'information canal au sein du codage source est prépondérante pour une transmission visant à l'optimisation de la qualité au décodage. Ainsi, dans les cas critiques de transmission la stratégie de pro-

TAB. 1 – Agrégation des paquets JPEG2000 pour la constitution des sous-flux source à protéger.

| #paquet | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------|--------|------|------|--------|--------|--------|------|------|--------|------|--------|------|
| taille (octets) | 247 | 542 | 1266 | 2303 | 2615 | 991 | 1 | 113 | 472 | 1276 | 2741 | 3538 |
| note objective | 1.00 | 1.00 | 1.10 | 3.41 | 4.21 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 4.63 | 4.68 | 4.88 | 4.89 |
| #sous-flux | 1 | | | 2 | 3 | 4 | | | 5 | | 6 | |
| débit source (bpp) | 0.0807 | | | 0.1509 | 0.2307 | 0.2645 | | | 0.3178 | | 0.5094 | |

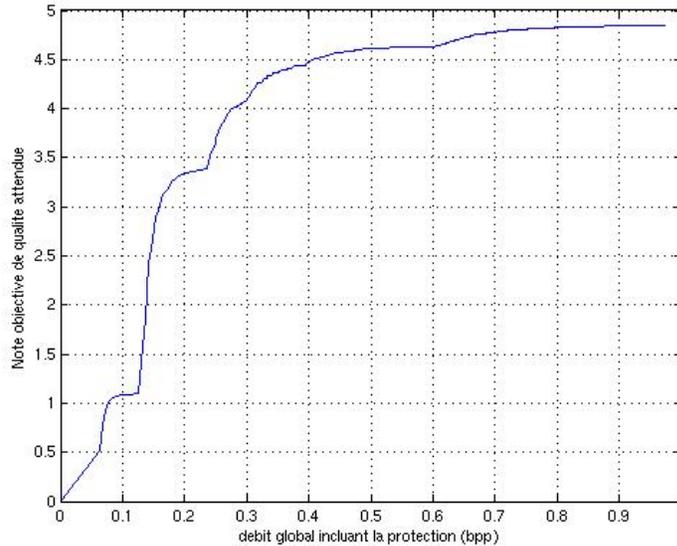


FIG. 3 – Note objective de qualité attendue à la réception d'une source JPEG2000 (Lena) protégée de manière inégale. Résultat de la procédure d'optimisation pour un profil de perte de paquet exponentiel de valeur moyenne égale à 10%.

tection inégale opte généralement pour ne pas transmettre les flux qui n'apportent pas significativement d'incrément de qualité. De cette manière, une redondance accrue est allouée aux flux prioritaires. La perspective de ce travail est la régulation temporelle de la protection afin de correspondre avec les comportements non stationnaires des canaux Internet et également supporter la protection inégale d'une source vidéo.

Références

- [1] JPEG2000 image coding system - Part 11 : Wireless JPEG 2000 - Working draft version 3.1. ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 WG1N3294, Avril, 2004.
- [2] F. Dufaux and D. Nicholson. JPWL : JPEG2000 for wireless applications, Proc. SPIE, Applications of Digital Image Processing XXVII, 2004.
- [3] A. Albanese, J. Blömer, J. Edmonds, M. Luby, and M. Sudan, "Priority Encoding Transmission", IEEE Trans. Inform. Th., vol.42, pp.1737-1744, nov. 1996.
- [4] V. Goyal, "Multiple Description Coding : Compression Meets the Network," IEEE Signal Processing Magazine 18, pp. 74-93, sept. 2001.
- [5] A. Mohr and E. A. Riskin and R. E. Ladner, "Unequal Loss Protection : Graceful Degradation of Image Quality over Packet Erasure Channels Through Forward Error Correction", Journal on Sel. Areas in Com., vol. 18, no.6, pp.819-628, juin 2000.

- [6] B. Parrein. Description multiple de l'information par transformation Mojette. Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2001.
- [7] M. Carnec, P. Le Callet, D. Barba. Full Reference And Reduced Reference Metrics For Image Quality Assessment. ISSPA 2003, Paris, Juillet 2003.