

Optimisation de la Qualité de Service Vidéo en Transmission ADSL

Jérôme FAUQUET, François-Xavier COUDOUX, Marie COLIN, Marc GAZALET

IEMN - Département OAE (UMR CNRS 8520)

Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Le Mont Houy

59313 Valenciennes Cedex 9

FRANCE

jerome.fauguet@univ-valenciennes.fr / francois-xavier.coudoux@univ-valenciennes.fr

Résumé - Nous proposons dans cet article une méthode originale d'optimisation de la qualité de distribution vidéo numérique dans le cadre d'une transmission sur paire téléphonique torsadée de type ADSL. Celle-ci s'appuie sur un schéma de compression vidéo MPEG-2 hiérarchique de type data partitioning avec adaptation du débit à la volée, qui permet tenir compte des caractéristiques du canal de transmission. Le schéma de codage hiérarchique est décrit de manière détaillée, ainsi que la méthode de transfert de puissance qui permet une protection inégale des flux de données haute et basse priorité. Enfin nous présentons les résultats de simulation de transmission vidéo ADSL, avec ou sans adaptation de débit. Les performances des différentes solutions envisagées sont évaluées à partir de différents critères : taux d'erreur binaire (TEB), erreur quadratique moyenne (EQM) du signal vidéo avant et après transmission. En particulier, l'analyse des résultats met en évidence la supériorité de la solution proposée vis à vis d'une transmission classique.

Abstract - We propose in this paper an original method to optimize the received video quality within the framework of digital video transmission over ADSL. This one is based on a digital video coding scheme, using the MPEG-2 data partitioning mode, with rate adaptation in the air, which allows to take into account the characteristics of the transmission channel. The hierarchical coding scheme is described in great detail, as well as the method of power transfer, which allows an unequal protection of the high and low priority video data streams. Finally we present the simulation results of digital video transmission over ADSL, with or without rate adaptation. The performances of the various solutions described here are evaluated in terms of BER, as well as MSE of the compressed digital video sequence, before and after transmission. In particular, the analysis of the results shows the superiority of the proposed solution compared to classical transmission schemes.

1. Introduction

À l'heure où la technologie ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) se déploie sur le marché, permettant aux abonnés d'obtenir des communications Internet allant jusqu'à un débit théorique de 6-8 Mb/s [1] par le biais d'une simple ligne téléphonique, les transmissions vidéos de haute qualité en temps réel sur paires torsadées cuivrées deviennent une application envisageable.

L'objet de notre étude consiste en l'optimisation de ces transmissions. Nous proposons dans cet article une nouvelle méthode permettant d'optimiser la qualité des transmissions vidéos au cas par cas, en fonction de la qualité de ligne de chaque abonné. En effet, certains abonnés ayant une ligne fiable peuvent recevoir une vidéo à un débit de 5-6 Mb/s (débit comparable aux chaînes transmises par satellite) avec un faible taux d'erreur. Cependant, lorsque la qualité de la ligne décroît, le taux d'erreur augmente, aboutissant très vite à des dégradations visuelles inacceptables. Pour pallier à cet effet, nous proposons, au niveau du central téléphonique, un traitement simple d'adaptation du débit vidéo à la volée, en fonction de la qualité de la ligne de chaque abonné. Cette idée de base est schématisée à la figure 1. D/D_{tot} représente ici le

rapport du débit réellement transmis sur le débit total avant transcodage.

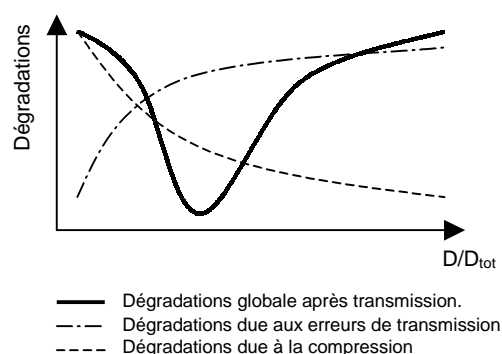


FIG. 1 : Dégradations vidéo après transmission en fonction du débit émis

Ce transcodage MPEG-2 est renforcé par l'utilisation de la bi-résolution en data-partitioning nous permettant d'assurer une même qualité de service minimale pour tous les abonnés [2]. Ces derniers reçoivent donc le même train de base avec le même taux d'erreur, la différence se faisant au niveau du débit et du taux d'erreur du train complémentaire.

L'article est organisé en deux parties. La première décrit de manière détaillée la méthode d'optimisation de la qualité de distribution vidéo. Nous présentons le transcodage vidéo développé en expliquant ses différentes caractéristiques. Nous verrons en particulier comment la technique proposée est bien adaptée à une transmission bi-résolution. Dans ce contexte, nous évoquerons l'utilisation du transfert de puissance qui nous permettra par la suite d'optimiser les taux d'erreur des deux flux émis.

La deuxième partie a pour but de vérifier la validité de la figure 1. Les résultats sont présentés en terme de distorsions dues à la transmission, distorsions intrinsèques au codage MPEG-2, puis distorsions globales après transmission ; Toutes ces distorsions étant exprimées en fonction du débit émis.

Finalement, nous reviendrons sur les caractéristiques actuelles de notre traitement et évoquerons nos perspectives d'amélioration.

2. Optimisation de la qualité de distribution vidéo par transcodage et bi-résolution

2.1 Transcodage MPEG-2 à la volée en Data Partitioning

Afin d'adapter le débit vidéo à la volée, nous avons développé un transcodage hiérarchique basé sur le data partitioning en MPEG-2 qui permet de scinder le flux en un train de base (TB) contenant les informations les plus importantes, et en un train complémentaire (TC) contenant le reste des informations. Nous considérons ici que le train complémentaire ne contient que des composantes haute fréquence de la vidéo. Cela correspond dans la norme au cas particulier où le Priority Break Point (PBP) est supérieur ou égal à 64, ce qui nous permet de transmettre dans le train de base une vidéo de qualité minimale. Notons que ce PBP sera appelé « PBP1 » dans la suite de cet article pour des raisons de clarté. Nous avons ensuite introduit, de façon artificielle, un nouveau PBP, noté « PBP2 », afin de couper en deux le train complémentaire. Ainsi, une partie du train complémentaire est conservée et transmise à l'abonné ; l'autre partie est supprimée du flux à la volée de façon à diminuer conjointement le débit total transmis et le taux d'erreur global (figure 2).

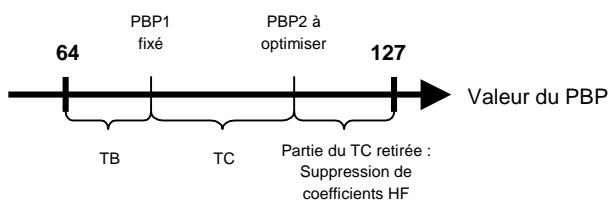


FIG. 2 : Principe du transcodage hiérarchique à deux PBP

Dans le but d'assurer une même qualité de base pour tous les abonnés, nous fixons le PBP1 à 66, ce qui correspond à un bon compromis entre la qualité visuelle du train de base et le

rapport D_{TB}/D_{tot} , soit environ 2/3 pour une vidéo codée à 6Mb/s. Le choix de la valeur du PBP2 dépend, d'une part de la qualité de la ligne, et d'autre part de la qualité intrinsèque de la vidéo. Plus le débit est faible (c'est à dire plus faible est le PBP2), plus le taux d'erreur décroît, mais en contrepartie la qualité intrinsèque du signal vidéo est diminuée car plusieurs coefficients HF ont été supprimés. Le PBP2 idéal est celui qui donnera la meilleure qualité globale en réception.

L'optimisation de la qualité vidéo en réception nécessite de prendre en compte les limites du transcodage, d'une part en terme de débit, et d'autre part en terme d'erreur engendrée par le transcodage. En effet, comme le montre la figure 3, une vidéo codée à 6Mb/s et transcodée avec un PBP2 de 64 aura un débit moyen d'environ 2,8 Mb/s. Ceci correspond au minimum d'information transmise pour qu'une vidéo puisse être décodée par un abonné. Les abonnés ayant une ligne de trop faible qualité ne pourront donc pas recevoir la vidéo. Quand à l'erreur engendrée par le transcodage, aussi connue sous le nom de « drift error » [3], elle est due au fait que les images reconstruites au niveau de l'encodeur et du décodeur ne sont pas les mêmes. Un effet visuel désagréable peut alors survenir, surtout dans les vidéos contenant beaucoup de mouvement. Plus la valeur du PBP2 est faible, plus ce problème du glissement d'erreur est susceptible d'apparaître.

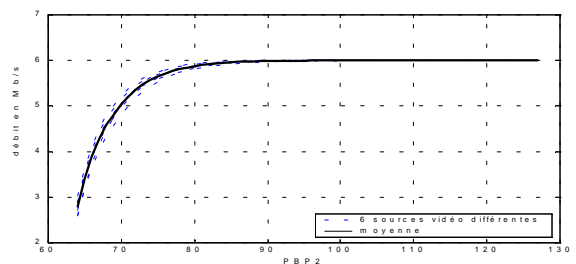


FIG. 3 : Débit vidéo après transcodage en fonction du PBP2 (pour un codage d'origine à 6Mb/s)

Afin de valider l'efficacité d'une adaptation du débit au cas par cas, et de montrer la supériorité d'un système de transcodage hiérarchique à deux PBP, nous avons développé une chaîne complète de transmission vidéo MPEG-2 sur ligne téléphonique en ADSL. Cette chaîne comprend pour la partie vidéo un encodage MPEG-2 mono-résolution, et bi-résolution en data partitioning avec optimisation possible des deux PBP. Pour la partie ADSL, l'allocation binaire et la répartition de puissance entre sous-porteuses ont été déterminées conformément à une technique développée au sein du laboratoire [4]. De plus, une méthode basée sur le transfert de puissance décrite au paragraphe 2.2 nous permet, dans le cas de la bi-résolution, de mieux protéger le train de base aux dépens du train complémentaire.

2.2 Transfert de puissance

Afin d'assurer une bi-résolution efficace en protégeant d'avantage le train de base vis-à-vis du train complémentaire, nous envoyons les données du train de base sur les meilleures porteuses, c'est à dire celles pour lesquelles le TEB est le plus faible. Cependant, cette technique n'est pas toujours très

efficace car il arrive qu'il y ait peu d'écart entre les TEB des différentes porteuses. De plus, nous avons vu précédemment que nous voulions assurer une même qualité de base pour tous les abonnés ; nous avons donc fixé le PBP1, mais il faut aussi que le taux d'erreur du train de base soit le même pour tous.

Pour cela, nous utilisons la technique du transfert de puissance. Cette dernière consiste à enlever de la puissance aux porteuses transmettant le train complémentaire pour la transférer vers les porteuses du train de base (Figure 4). Ceci revient dans la pratique à multiplier par un facteur $\alpha > 1$ les puissances des porteuses du train de base, et par un facteur $\beta < 1$ celles du train complémentaire. Les valeurs α et β sont calculées de façon à conserver la même puissance totale à l'émission.

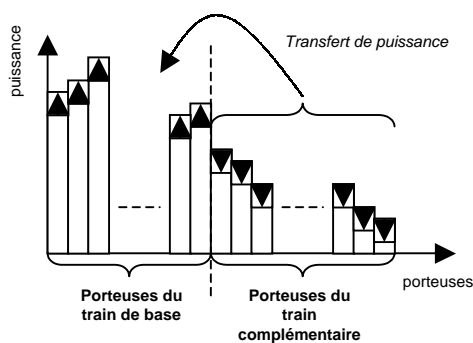


FIG. 4 : Schéma de principe du transfert de puissance

Ainsi, le TEB du train de base n'exécède pas une limite fixée, et les informations essentielles sont mieux protégées. La figure 5 présente à titre d'exemple l'évolution des TEB des deux trains en fonction de α , pour une ligne pouvant transmettre 6Mb/s à un TEB d'environ 10^{-8} . Les valeurs des PBP1 et PBP2 sont respectivement 66 et 127.

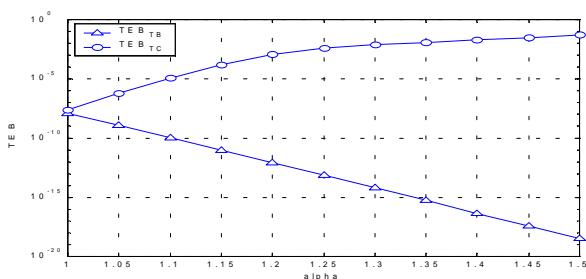


FIG. 5 : Évolution du TEB des deux trains en fonction du transfert de puissance (TEB calculé après décodage des codes correcteurs de Reed-Solomon)

Nous pouvons constater qu'une faible élévation du facteur α fait varier très rapidement les TEB des deux trains. Cependant, le TEB du train de base décroît progressivement alors que le TEB du train complémentaire semble converger vers un seuil. Ce dernier est dû à la limite d'efficacité des codes correcteurs.

3. Expérimentations

3.1 Étude des pertes de qualité dues à la transmission

Nous avons vu au paragraphe 2.1 que la fonction qui lie le PBP2 au débit varie très peu en fonction du type de source vidéo. Nous étudierons donc par la suite les pertes de qualité vidéo en fonction du PBP2 plutôt qu'en fonction du débit. Le principal intérêt consiste en la possibilité de contrôle de ce paramètre au niveau du transcodeur.

Pour étudier les distorsions dues à la transmission, nous nous sommes appuyés sur les modèles de lignes européennes décrits dans le rapport de l'ETSI ETR-328 [5]. Les caractéristiques de la simulation sont les suivantes : utilisation de la ligne « Loop 1 », d'un modèle de bruit B, d'un gain de codage à 3dB, et d'une transmission en multiplexage fréquentiel. La longueur de cette ligne a été ajustée de façon à pouvoir atteindre un débit de 5Mb/s à un TEB d'environ 10^{-8} . Dans la figure 6, les distorsions dues au canal de transmission sont présentées en terme de TEB en fonction du PBP2.

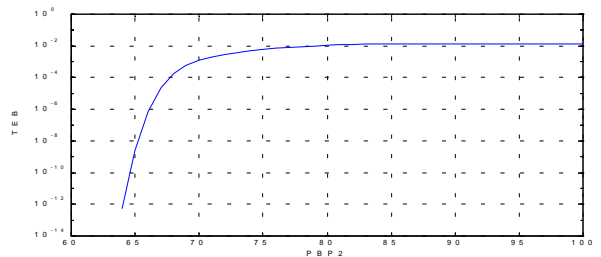


FIG. 6 : Distorsions dues à la transmission en fonction du PBP2 (TEB calculé avant décodage des codes de Reed-Solomon)

On constate que le TEB évolue très rapidement en fonction du PBP2. Ceci était prévisible car, si on se réfère à la figure 3, le débit vidéo augmente lui aussi très rapidement en fonction du PBP2. En effet, l'énergie du signal vidéo est concentrée dans les basses fréquences, et une vidéo codée à 6Mb/s contient peu d'informations haute fréquence susceptibles de dépasser un PBP2 supérieur à 90. Il est donc normal que le débit vidéo et le TEB, qui évoluent conjointement, atteignent rapidement leur seuil maximal.

3.2 Étude des distorsions intrinsèques au transcodage MPEG-2

Nous présentons dans la suite les résultats obtenus sur une vidéo encodée à 6Mb/s. Cette dernière a été choisie parmi les séquences fournies par le groupe de travail VQEG [6]. Elle a été retenue pour ses caractéristiques représentatives en terme de mouvements et de détails. D'autres séquences vidéo sont actuellement à l'étude. Nous entendons ici par distorsions intrinsèques au transcodage les pertes de qualité vidéo dues à la suppression de coefficients DCT haute fréquence.

Sur la figure 7, les distorsions dues au transcodage sont évaluées en terme d'erreur quadratique moyenne (EQM) en fonction du PBP2. Cette erreur est calculée à partir de la différence entre les images d'origine (avant codage de la

vidéo à 6Mb/s) et les images reconstruites après transcodage, puis elle est moyennée sur l'ensemble de la séquence vidéo. Bien que cette EQM ne soit pas un paramètre optimal pour une mesure objective de la qualité visuelle, elle n'en demeure pas moins un critère largement utilisé. Nous envisageons par la suite d'utiliser des méthodes de mesure plus élaborées et mieux corrélées avec le système visuel humain.

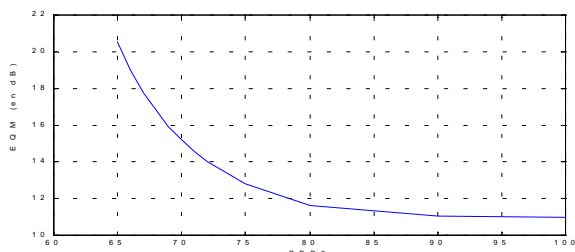


FIG. 7 : Distorsions dues au transcodage en fonction du PBP2

Comme nous l'avons vu précédemment, peu d'informations sont présentes au-dessus d'un PBP2 égal à 90. L'EQM atteint donc rapidement son minimum.

3.3 Étude des distorsions globales après transmission

Pour ce résultat final, nous avons utilisé le canal de transmission évoqué au paragraphe 3.1 ainsi que la même vidéo qu'au paragraphe 3.2. Ce qui nous permet de comparer les différentes distorsions sur une seule figure. Dans le cas présent, le transfert de puissance n'est pas appliqué.

Les distorsions vidéo globales après transmission sont exprimées par le biais de l'EQM moyennée sur l'ensemble de la séquence vidéo. Nous retrouvons donc sur la figure 8 les distorsions dues à la transmission sous forme de TEB, les distorsions dues au transcodage sous la forme d'EQM, et finalement les distorsions globales après transmission sous la forme d'EQM aussi.

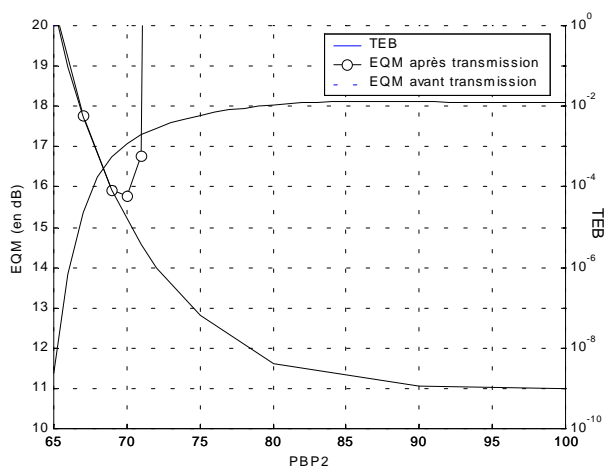


FIG. 8 : Distorsions globales après transmission en fonction du PBP2

Ce résultat nous permet de vérifier la validité du raisonnement suggéré par la figure 1. Il existe bien un débit

(ou PBP2) idéal qui permet d'optimiser la transmission vidéo chez l'abonné. Dans notre cas particulier, le PBP2 idéal vaut 70. On peut aussi constater que les distorsions vidéo baissent d'abord lentement : le TEB étant très faible, cette évolution est directement liée aux distorsions dues au transcodage MPEG-2. Puis, très vite, les distorsions augmentent avec le TEB et, pour un PBP2 au-dessus de 71, la vidéo n'est plus décodée tellement le taux d'erreur est élevé.

4. Conclusion

Nous venons de vérifier l'efficacité du transcodage MPEG-2 proposé dans cet article. Nous avons vu que ce dernier est limité par le débit minimum correspondant à un PBP2 égal à 64, ainsi que par l'apparition éventuelle du phénomène de glissement d'erreur. Pour pallier ces inconvénients, il serait envisageable d'émettre la source vidéo à trois débits différents : 2, 4 et 6Mb/s. Le débit d'origine serait choisi en fonction de la qualité de la ligne et serait adapté si nécessaire par transcodage de façon à optimiser la qualité vidéo en réception.

Dans cet article, le transfert de puissance n'a pas été appliqué. Ce dernier fait actuellement l'objet d'études visant à améliorer encore la qualité vidéo finale en tirant profit de la bi-résolution.

Finalement, après avoir validé l'efficacité du transcodage en bi-résolution sur un nombre significatif de vidéos, nos travaux de recherche se porteront sur l'élaboration d'un algorithme permettant de calculer automatiquement le PBP2 idéal, ainsi que le taux de transfert de puissance, en fonction de la qualité de la ligne.

Références

- [1] J.M. Cioffi, T. Starr, P.J. Silverman. *Understanding Digital Subscriber Line Technology*. Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 1999.
- [2] Haitao Zheng, K.J. Ray Liu. *Multimedia Services Over Digital Subscriber Lines*. IEEE Signal Processing Magazine, July 2000, vol. 17, no. 4, p.44-60.
- [3] J.Youn and M-T. Sun, *Video Transcoding with H.263 Bit-Streams*, JVCIR 11, pp. 385-404 (2000)
- [4] Marie Colin. *Etude de l'optimisation d'un système DMT-ADSL. Application à la transmission vidéo MPEG-2 en mode hiérarchique*. Thèse présentée à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Janvier 1999.
- [5] *Transmission and multiplexing (TM); Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL); Requirements and performance*. ETSI technical report ETR328, 1996.
- [6] <http://www-ext.crc.ca/vqeg/main.html>