

Transmission vidéo numérique MPEG-2 à deux niveaux de priorité sur réseau ATM

Laurent GRIMBERT, Patrick CORLAY, Marc GAZALET,
Christian DERVIAUX, Francis HAINE

Institut d'Electronique et de Micro-électronique du Nord (IEMN) Dept OAE UMR CNRS 9929
Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
Le Mont Houy, BP311
F-59304 Valenciennes Cedex, France

RÉSUMÉ

La transmission de la vidéo sur deux niveaux de priorité offre la possibilité de diminuer les effets des pertes de cellules ATM sur les images décodées et, par conséquent, présente une plus grande tolérance vis-à-vis de leur fréquence d'apparition. Une estimation de l'allocation de ressources, pour des codages MPEG-2 en mode « Data Partitioning » et « SNR Scalability », est réalisée dans le cadre d'un mécanisme de contrôle de débit par « Leaky Bucket ». Le but de cet article est d'étudier l'action du Leaky Bucket sur le flux basse priorité de codages MPEG-2 à deux niveaux, afin d'évaluer leurs coûts de transmission et de les comparer à celui d'un codage monocouche MPEG-2 MP@ML.

ABSTRACT

Two-layers video transmission allows to reduce the effects of ATM cell losses on decoded video sequences and, consequently, is more tolerant in regard to their advents. An estimation of bandwidth allocation is realized, in the area of Leaky Bucket bit rate policing mechanism, for two two-layers MPEG-2 video encoding schemes : « Data Partitioning » and « Signal-to-Noise Ratio » scalabilities. The purpose of this paper is to analyze the action of the Leaky Bucket on the MPEG-2 video low priority bitstreams. In particular, a comparison with a MPEG-2 MP@ML encoding, in terms of transmission costs, is performed.

1 Introduction

La vidéo prend une part de plus en plus importante parmi les moyens de communications et l'émergence des réseaux ATM (Asynchronous Transfer Mode), depuis quelques années, offre une perspective intéressante de support à sa transmission. L'ATM Forum a proposé plusieurs sortes de contrats entre l'utilisateur et l'opérateur, portant sur le type de transmission. Les allocations de débit constant CBR (Constant Bit Rate) et variable VBR (Variable Bit Rate) sont les plus adaptées à la vidéo car elles présentent la garantie de ne pas perdre de cellules tant que l'on respecte le contrat. Coder une séquence vidéo à débit constant (garantie maximale) va cependant à l'encontre de la nature variable de son débit : il en résulte un effet de variation de la qualité des images décodées. Il est donc plus judicieux d'utiliser un canal VBR. De plus, la liaison ATM est mieux utilisée car on peut multiplexer un plus grand nombre de trains vidéo.

La nature aléatoire du débit vidéo ainsi que la volonté de réduire au maximum les coûts de transmission peuvent provoquer des excès vis à vis du contrat d'allocation de ressources. Ceci aurait pour conséquence de saturer le réseau et d'augmenter considérablement le taux de pertes de cellules dues aux congestions dans les commutateurs. Afin de ne pas porter préjudice aux autres utilisateurs du lien ATM, l'opérateur de réseau se doit de contrôler le débit de chaque client. L'ATM Forum propose dans la spécification [1] un système de contrôle de débit appelé « Leaky Bucket » : il marque ou supprime les cellules ne respectant pas le contrat défini préalablement. Cette élimination des cellules, survenant le plus souvent en rafales, peut avoir pour conséquence la perte d'une partie d'image dans le décodeur.

Il existe plusieurs moyens permettant de se prémunir des effets des pertes de cellules : dissimulation d'erreurs,

adjonction de codes correcteurs d'erreurs a priori (FEC) [2]. Nous présentons dans cet article une solution préventive basée sur un codage vidéo à deux niveaux. Le premier transporte les informations de base de l'image avec une garantie maximale (CBR) alors que l'on transmet, en VBR sur le deuxième, les données supplémentaires destinées à reconstruire dans le décodeur une image de qualité équivalente à celle d'un codage monocouche. Les pertes de cellules occasionnelles sur le train supplémentaire affectent moins la qualité des images décodées car le récepteur dispose d'une version « qualité minimale » de la partie de l'image manquante. Le taux de pertes de cellules toléré sur le flux basse priorité peut donc être légèrement plus important que celui sur un flux monocouche.

L'objet de cet article réside dans l'évaluation optimale de l'allocation de débit (paramètres du Leaky Bucket) du train basse priorité, dans le but de proposer une méthode d'estimation du coût de transmission. Une comparaison entre les codages à deux niveaux et monocouche (Main Profile @ Main Level), à qualité équivalente, est réalisée.

Nous exposons dans les sections 2 et 3 les principes du codage MPEG-2 en modes « Data Partitioning » (DP) et « Signal-to-Noise Ratio Scalability » (SNR-S), ainsi que le mécanisme de contrôle de débit « Leaky Bucket » (LB). La présentation des résultats expérimentaux de l'action du Leaky Bucket sur le flux basse priorité fait l'objet de la section 4. En conclusion, la partie 5 réalise une synthèse des résultats obtenus.

2 Codage vidéo MPEG-2 à deux niveaux de priorité

Dès la fin des années 80, M. Ghanbari [3] proposait de séparer le train binaire résultant du codage de la vidéo en

deux niveaux de priorité. La norme de compression d'image MPEG-2 [4] a défini en 1994 quatre modes extension basés sur cette idée. Nous nous intéressons plus particulièrement aux modes DP et SNR-S dont les domaines d'applications visent à une transmission efficace sur réseau ATM : robustesse vis à vis des pertes de cellules et dégradation progressive de la qualité.

2.1 Data Partitioning

Le mode DP réalise une séparation du train binaire résultant d'un codage vidéo MPEG-2 monocouche suivant un point d'arrêt appelé « Priority Breakpoint », noté PBP (Tab.1), pouvant varier à chaque slice. A partir de la valeur 64 du PBP, la couche de base contient les paires (run, level) DCT basse fréquence [4]. Toutes les autres sont placées dans la couche basse priorité. Il est à noter que les en-têtes de séquences, de groupes d'images (GOP) et d'images figurent dans les deux trains pour faciliter le traitement des erreurs. Cette unique redondance d'information est négligeable par rapport au débit total (inférieure à 1%).

PBP	Éléments de syntaxe inclus dans le train de base
0	réservé au train supplémentaire.
1	toutes les données de séquence, GOP, image et slice jusqu'à <i>extra_bit_slice</i> .
2	tous les éléments ci-dessus jusqu'à <i>macroblock_address_increment</i> inclus.
3	tous les éléments ci-dessus jusqu'à <i>coded_block_pattern()</i> non inclus.
4 .. 63	réservé.
64	tous les éléments ci-dessus jusqu'au coefficient DC, et la première paire (run,level) DCT.
65	tous les éléments ci-dessus jusqu'à la deuxième paire (run,level) DCT au maximum.
...	
63+j	tous les éléments ci-dessus jusqu'à la j ^{ième} paire (run,level) DCT au maximum.
...	
127	tous les éléments ci-dessus jusqu'à la 64 ^{ième} paire (run,level) DCT au maximum.

Tab.1 : Valeurs du PBP et syntaxe associée.

2.2 SNR Scalability

Le principe du mode SNR-S est tout autre car il intervient au niveau du codage vidéo et non pas en tant que post-traitement. Le processus de codage du train de base reste identique à celui d'un codage monocouche, alors que le train supplémentaire résulte de la requantification de l'erreur résultant de la quantification du train de base (Fig.1). L'adjonction des données de la couche basse priorité au train haute priorité apporte un complément d'information améliorant la qualité des images décodées dans le récepteur. En contrepartie, à niveau de quantification égal, le codage SNR-S présente un surcoût de débit de l'ordre de 10 à 15 % par rapport à un codage monocouche [5].

2.3 Analyse des deux modes

Dans le cas où la réception des deux trains se fait sans perte de cellules, la qualité des images décodées dans le récepteur en mode DP est équivalente à celle d'un codage monocouche, dans la mesure où les données vidéo reçues sont identiques. De même, à débit moyen équivalent, le codage SNR-S offre une qualité d'image conforme à un

codage monocouche. Il semble possible d'obtenir une légère amélioration de la qualité lorsque la proportion de la couche de base est inférieure à celle de la couche supplémentaire ; ce résultat nécessiterait néanmoins une vérification par des tests subjectifs [5].

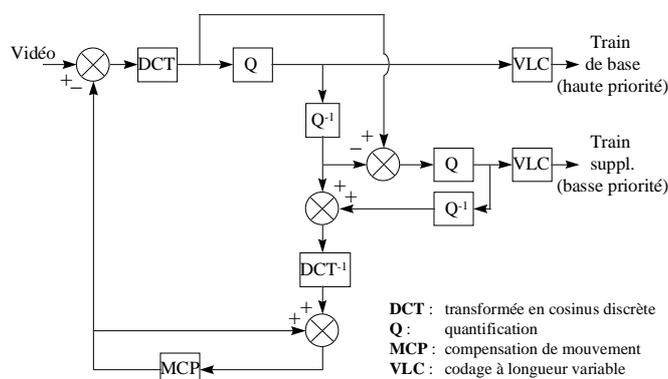


Fig.1 : codage MPEG-2 en mode SNR Scalability.

Dès que les pertes de cellules surviennent sur le train basse priorité, la qualité des images décodées chute de manière plus importante en mode DP par rapport au mode SNR-S, surtout lorsque la part de la couche de base est inférieure à 50%. Ceci est la cause de l'absence plus marquée de coefficients DCT haute fréquence dans l'image décodée en mode DP qu'en mode SNR-S : les défauts visuels tels que les effets de blocs sont en effet plus marqués. La principale différence entre ces deux modes de codage porte surtout sur la qualité supérieure de la couche de base en SNR-S par rapport au mode DP.

Les modes extension du codage vidéo MPEG-2 ont fait l'objet d'une étude approfondie dans [5], notamment concernant la quantification de la qualité des images (par un calcul de PSNR) en fonction du taux de pertes de cellules appliqué à la transmission. Nous reprenons par la suite les résultats des modes DP et SNR-S dans la section 4, afin de fixer le taux de pertes de cellules toléré par la couche basse priorité et d'évaluer ainsi les paramètres du Leaky Bucket.

3 Leaky Bucket

Le Leaky Bucket (LB) est un mécanisme de contrôle de débit fonctionnant sur le principe de la synchronisation de l'émission des données avec la présence de jetons de contrôle (Fig. 2). Les cellules entrantes sont tout d'abord stockées dans une mémoire tampon de taille constante F. Si le réservoir à jetons n'est pas vide, un nombre de cellules équivalent au nombre de jetons sort du LB. Dans le cas contraire, les cellules situées dans la mémoire tampon sont mises en attente, jusqu'à ce qu'un nouveau jeton soit généré. Il est à noter que le débit de génération des jetons R est constant et que la taille du réservoir à jetons B est elle aussi fixée. Lorsque la mémoire tampon est remplie, les nouvelles cellules entrantes sont marquées ou supprimées car, dans ce cas, la source ne respecte pas le contrat d'allocation de débit.

L'évaluation des performances du LB sur un flux vidéo monocouche à débit variable a fait l'objet de plusieurs études dont [6]. La section suivante présente l'expérimentation et les résultats concernant l'action du LB sur le flux basse priorité de codages DP et SNR-S. Une analyse du coût de transmission est également proposée.

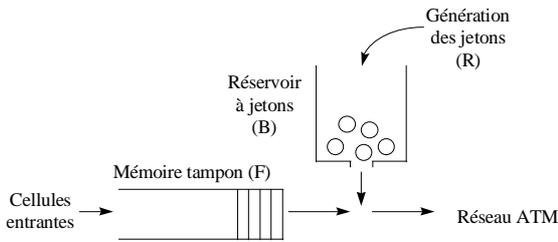


Fig. 2 : Mécanisme de contrôle de débit Leaky Bucket.

4 Résultats expérimentaux

La mise en place expérimentale se décompose en trois parties : codage vidéo MPEG-2, modélisation du flux de cellules et simulation de l'action du LB.

4.1 Codage MPEG-2 vidéo et mise en cellules

Concernant le codage vidéo, nous avons utilisé le codeur MPEG2Tool [7] sur la séquence « football » de format 720*480 à une fréquence de 30 images par seconde pour un débit moyen total de 7.5 Mbps. Pour le codage en mode DP, nous avons choisi de fixer le PBP à une valeur supérieure ou égale à 64 pour toutes les séquences codées de manière à toujours avoir des données vidéo dans la couche de base. Pour des raisons de gain de multiplexage statistique, la part de débit constant ne doit pas être prépondérante vis à vis de celle en débit variable. Aussi, nous nous sommes fixé un rapport de débit du train de base sur le débit total inférieur à 50%, en sachant que plus ce rapport est faible, plus le multiplexage permet une réduction des coûts de transmission.

Les données vidéo, lues macrobloc par macrobloc, au rythme d'une lecture en temps réel (toutes les 24.69 μ s), sont mises dans les cellules. Chaque cellule, une fois remplie, est émise ; on obtient ainsi une séquence d'inter-arrivées de cellules caractérisant le débit variable de la source vidéo.

4.2 Modélisation du trafic vidéo

Afin d'obtenir des résultats applicables dans un cadre général, une modélisation du flux de cellules est réalisée. De plus, comme il s'agit d'évaluer des taux de pertes de cellules (de nature aléatoire), il est nécessaire d'effectuer plusieurs simulations.

De nombreuses recherches traitent de la modélisation de vidéo VBR et donnent lieu à l'élaboration de modèles sur lesquels il faut distinguer une hiérarchie, suivant le comportement spécifique que l'on veut mettre en valeur [8]. Dans notre travail, le modèle doit tenir compte d'une fine résolution temporelle car une cellule ne contient que quelques macroblocs. Le processus de Poisson modulé par une chaîne de Markov (Markov-Modulated Poisson Process) d'ordre 2, MMPP(2), est le plus approprié pour caractériser le flux de cellules d'une source vidéo [8].

4.3 Simulation du Leaky Bucket et résultats

Un dimensionnement de la mémoire tampon et du réservoir à jetons est nécessaire. En effet, la taille de la mémoire tampon (F) est liée au délai de transmission des cellules : celles-ci peuvent subir une variation de délai

correspondant au rapport F/R. Compte tenu des exigences en matière de synchronisation entre le codeur et le décodeur, fixées par la norme MPEG-2, nous avons, pour chaque simulation, autorisé une variation maximale du délai dans la mémoire tampon du LB de 20 ms. De cette façon, nous ne nous intéressons qu'aux pertes de cellules dues au dépassement de capacité de la mémoire tampon et non à celles dues au délai excessif de transmission à travers le réseau.

La capacité du réservoir à jetons B est en relation directe avec la taille des rafales de cellules sortant du LB. Une valeur trop élevée annihilerait la fonction de contrôle de débit du Leaky Bucket et à l'inverse, si le réservoir ne peut contenir que très peu de jetons, le flux de cellules sortant du LB est quasiment constant car il suit le débit de génération des jetons. Faire varier B reviendrait donc à étudier le comportement du flux de cellules entrant dans le réseau. Cette analyse serait intéressante pour la recherche d'une optimisation du multiplexage de sources vidéo. Comme ce travail sort du cadre de cet article, la taille du réservoir à jetons a été fixée pour chaque simulation à une valeur proportionnelle au débit moyen des cellules à l'entrée du LB. Plusieurs observations du flux sortant du LB ont montré qu'une capacité de 20 jetons pour un débit de 7.5 Mbps est un bon compromis.

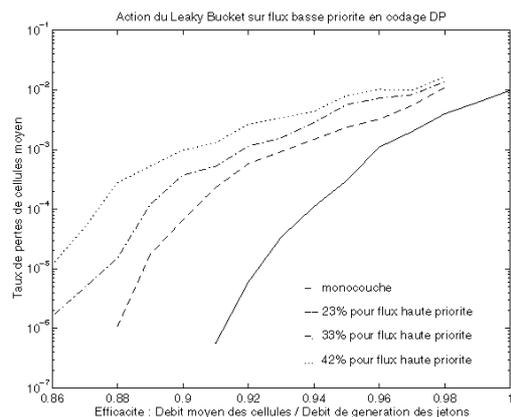


Fig. 3 : Évolution du CLR_{moyen} en fonction de l'efficacité en DP.

La simulation consiste à faire varier le débit de génération des jetons et à observer le taux de pertes de cellules (CLR - Cell Loss Ratio) provoqué par le LB sur le train basse priorité. Pour normaliser les résultats, nous effectuons le rapport de débit moyen des cellules sur le débit de génération des jetons. Nous appelons ce paramètre « efficacité » car il est lié au taux d'utilisation du LB : en effet, à CLR égal, plus celui-ci est élevé, plus la source est facilement contrôlable. De même, par souci d'homogénéisation dans la comparaison des résultats, le CLR utilisé (CLR_{moyen}) est calculé de manière à avoir le même nombre de pertes sur toutes les séquences :

$$CLR_{moyen} = CLR_{basse\ priorité} * \frac{\text{Débit basse priorité}}{\text{Débit total}}$$

Les figures 3 et 4 sont le fruit de simulations réalisées respectivement en DP et SNR-S. La lecture du paramètre efficacité, et par conséquent du débit de génération des jetons (R) requis pour chaque transmission, est effectuée à partir des données du tableau 2.

Type de codage	Monocouche	DP	SNR-S
CLR_{moyen}	8.10^{-6}	8.10^{-5}	8.10^{-4}

Tab.2 : CLR_{moyen} tolérés en codages monocouche, DP, SNR-S.

Celui-ci reprend les résultats de l'article [5] montrant qu'en codage à deux niveaux, le CLR_{moyen} toléré est supérieur à celui d'un codage monocouche pour une qualité moyenne équivalente. Notons que ces valeurs de CLR ont été retenues dans le cadre d'un décodage avec dissimulation d'erreurs par une méthode de compensation de mouvement, sauf pour le codage SNR-S.

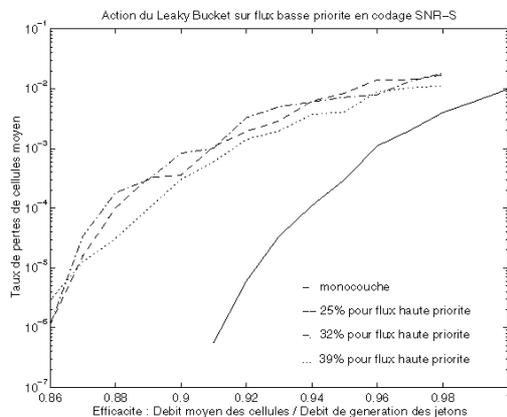


Fig. 4 : Évolution du CLR_{moyen} en fonction de l'efficacité en SNR-S.

L'examen de ces courbes montre que le débit de génération des jetons nécessaire à l'obtention des CLR_{moyen} du tableau 2 doit être supérieur au débit moyen des cellules :

- de 8 % en codage monocouche,
- de l'ordre de 10 % en codage SNR-S,
- de 10 à 14 % en codage DP (suivant la proportion de débit de la couche haute priorité).

Nous remarquons un surcoût de débit pouvant atteindre 5 % en codage à deux niveaux par rapport au codage monocouche ; en codant le train de base à débit constant, le flux basse priorité devient plus variable et donc moins facilement contrôlable. Nous observons également que le CLR toléré plus élevé en codage à deux niveaux ne compense pas complètement le surcoût de débit nécessaire ; l'efficacité est toujours légèrement plus faible en codage à deux niveaux.

La comparaison des modes DP et SNR-S fait apparaître deux points importants :

- le pourcentage accordé au flux haute priorité ne semble pas être un facteur de variation de l'efficacité en mode SNR-S : Les trois courbes représentées sont proches l'une de l'autre. Par contre, la figure 3 montre une baisse de l'efficacité avec l'augmentation du pourcentage de débit accordé au flux haute priorité. Cette constatation s'explique par la nature même des modes de codage : en DP, la partition des données au niveau des coefficients DCT engendre un débit de plus en plus changeant au fur et à mesure que le PBP augmente, du fait de la présence variable des coefficients DCT haute fréquence dans le train basse priorité. Le nombre de coefficients DCT en mode SNR-S est constant quelle que soit la proportion de la couche haute priorité ; il s'agit en effet de coefficients DCT d'une image différence sur lesquels la quantification varie légèrement.
- A taux de pertes de cellules égal, l'efficacité du LB est globalement identique pour les deux modes. On note cependant que dans le cas d'un PBP faible en DP, le débit de génération des jetons peut être moindre. Cependant, étant donnée la plus grande robustesse du mode SNR-S vis-à-vis des pertes de cellules, l'efficacité est la même.

Ces simulations nous permettent de conclure qu'en mode DP, le choix d'un faible PBP conduit à une transmission plus efficace. Cependant, concernant leur transmission, il semble qu'aucun des deux modes ne puisse être privilégié.

Nous avons enfin évalué les coûts de transmission dans chacun des cas étudiés à partir des tarifs publiés par AT&T [9] concernant son service ATM offrant des connexions à la demande en CBR et VBR. Pour le train haute priorité transmis en CBR, des simulations ont montré qu'une allocation de 20 % supérieure au débit moyen des cellules permet, dans tous les cas, de n'avoir aucune perte de cellule. Nous constatons une diminution du coût de transmission en codage à deux niveaux par rapport au codage monocouche (8.15 Mbps - 7.5 \$/min) de l'ordre de 10 % (Tab. 3). Ceci est dû à l'évolution des tarifs faisant apparaître deux propriétés :

- l'augmentation du coût en fonction du débit n'est pas linéaire : proportionnellement, plus la bande passante à allouer est élevée, plus le coût est élevé,
- à de faibles débits, le surcoût du mode CBR par rapport au VBR est faible.

	Bande passante	Coût
Haute priorité CBR	2.1 Mbps	1.6 \$/min
Basse priorité VBR	6.4 Mbps	5.1 \$/min
Total	8.5 Mbps	6.7 \$/min

Tab.3 : Coût en codage DP (23% pour le train haute priorité)

5 Conclusions

Le contrôle de débit par LB du flux basse priorité d'un codage MPEG-2 vidéo à deux niveaux a été réalisé. Les résultats montrent que la bande passante totale requise est très légèrement supérieure en codage à deux niveaux (5%) mais que, dans l'état actuel de la tarification, les modes DP et SNR-S présentent l'avantage de réduire les coûts de transmission de l'ordre de 10%.

Une amélioration intéressante pour la transmission en mode DP consisterait à faire varier le PBP à chaque slice (ligne de macroblocs) et à autoriser des valeurs inférieures à 64. Une autre perspective concerne l'étude plus approfondie du comportement du flux sortant du LB afin d'optimiser le multiplexage statistique des sources vidéo sur le réseau ATM.

4 Références

- [1] ATM Forum, "ATM User-Network Interface Specification 3.1".
- [2] Aghaei Nia H., Gazalet M. and Rouvaen J.M., "Mapping with Cell Addressing of Train Transport MPEG-2 over ATM Cells via AAL-5" in Electronics Letters 26th September 1996, Vol. 32, N°20, pp 1857-1858.
- [3] Ghanbari M., "Two-Layer Coding of Video Signals for VBR Networks" in IEEE JSAC, Vol. 7, N° 5, pp771-781, June 1989.
- [4] ISO/IEC IS 13818-2 ITU-T Recommendation H.262, "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio - Part 2 :Video".
- [5] Aravind R., Civanlar M. R. and Reibman A. R., "Packet loss resilience of MPEG-2 scalable video coding algorithms", IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology, Vol.6, N°5, October 1996.
- [6] Pancha P. and El Zarki M., "Leaky Bucket access control for VBR MPEG video", Proc. Of IEEE Infocom 1995, Boston, MA, April 1995.
- [7] Luo W. and El Zarki M., "MPEG2Tool: a toolkit for the study of MPEG-2 video transport over ATM based networks", IS&T/SPIE Dig. Video Compression Algorithms and Techn. 96, San Francisco, CA, January. 1996.
- [8] Leduc J.P., "Digital Moving Pictures - coding and transmission on ATM networks", Elsevier, Advances in Image Communication, Vol. 3, 1994.
- [9] "AT&T inaugure une offre de service SVC sur son réseau ATM et publie ses tarifs", ATM Perspectives N°26, Février 1997, pp 10-11.