

# Streaming vidéo avec prise en compte du contenu de l'image pour l'allocation des ressources dans un réseau de type 3G

N. Tizon et B. Pesquet-Popescu  
Dept. Signal et Image, GET - Télécom Paris  
46 rue Barrault, 75634 Paris, France  
{tizon, pesquet}@tsi.enst.fr

## Résumé

*Cet article s'intéresse au problème de l'allocation des ressources dans un réseau cellulaire sans fil pour des applications de streaming vidéo. La solution proposée s'appuie sur une transmission hiérarchique des paquets suivant un partitionnement en régions d'intérêt afin de maintenir un niveau acceptable pour la QoS perçue par l'utilisateur. En terme de politique d'ordonnancement et de transmission des paquets, la stratégie retenue est intermédiaire entre une solution "best-effort" tributaire des conditions du réseau et une approche orientée QoS avec débits de transmission garantis. Le contenu de la vidéo est transmis de façon différenciée depuis la couche IP jusqu'aux entités de gestion de la ressource radio grâce à une méthode efficace de codage des informations de contrôle. A partir d'un modèle utilisant le mouvement pour distinguer les régions de l'image, nous avons montré que cette approche aboutit à un gain de qualité important comparé aux méthodes d'allocation de ressources classiques.*

## Mots clefs

Streaming vidéo, réseau 3G, QoS, H.264, région d'intérêt, canaux différenciés.

## 1 Introduction

Les transmissions vidéo sont actuellement un des principaux défis technologiques dans le monde des communications sans fil. Concernant les réseaux de téléphonie de type 3G, 3GPP est l'organisme de normalisation qui intègre les solutions techniques. De part sa supériorité en terme d'efficacité de codage et sa robustesse en cas de transmissions avec pertes, le codage H.264/AVC [1, 2] a été largement adopté pour les transmissions point à point en mode paquet et les services de diffusion en broadcast.

La principale composante au niveau de la gestion de la ressource radio est l'ordonnancement de paquets, qui partage la bande passante totale de la cellule en assignant différentes priorités aux utilisateurs. Avec la mise en œuvre de codecs scalables tels que celui issu du projet SVC (Scalable Video Coding) mené par l'ITU/JVT et MPEG [3], la mise en œuvre d'algorithmes d'ordonnancement des paquets en fonction du contenu devient possible. Ce codec est une

extension d'H.264/AVC mais des solutions ont déjà été proposées pour exploiter les propriétés de scalabilité déjà présentes dans H.264/AVC. Par exemple, ASO (Arbitrary Slice Ordering) peut être utilisé pour transmettre de façon hiérarchique les images en fonction du niveau de mouvement du contenu [4, 5]. De plus, FMO (Flexible Macroblock Ordering) et le partitionnement des données dans le flux compressé fournissent une hiérarchisation sémantique et syntaxique des données vidéo dans [6] et [7] respectivement. Pour ce qui est de l'ordonnancement des paquets, [8] et [9] proposent des solutions de streaming utilisant les contraintes de débit-distortion avec une approche assez théorique dans [8] et dans [9] le calcul de la distortion est fait en considérant l'ensemble de l'image. Dans cette étude, nous proposons une méthode qui distingue les paquets en fonction des régions de l'image auxquelles ils se réfèrent en partitionnant l'image suivant l'information de mouvement. Les informations de partitionnement sont transmises grâce à une solution de codage efficace ne nécessitant qu'une modification légère de la syntaxe d'H.264. Dans [7], les données sont traitées de façon différenciée par UEP (Unequal Error Protection) en utilisant des codes Reed-Solomon. Dans notre approche, la différenciation intervient au niveau de l'ordonnancement des paquets en accord avec le formalisme de la QoS défini dans 3GPP [10]. Par ailleurs, nous nous plaçons dans un contexte où les conditions de transmission peuvent varier brutalement et plus particulièrement lorsque la QoS n'est plus garantie. L'article est organisé de la façon suivante : la partie qui suit précise le contexte de l'étude et une stratégie d'allocation de ressources est proposée. La partie 3 s'intéresse à la définition des régions d'intérêt. L'intérêt de notre méthode est montré et commenté à travers des résultats expérimentaux dans la partie 4 et enfin nous concluons en partie 5.

## 2 Allocation de la bande passante

Au cours d'une session de streaming vidéo, l'impact visuel engendré par la perte d'un paquet doit être limité pour fournir une qualité de service acceptable. En raison de la mise en œuvre de codages à longueur variable, les erreurs au niveau du canal de transmission peuvent entraîner des pertes

de synchronisation et l'échec du décodage. En pratique, les règles de mise en paquets RTP doivent permettre à l'encodeur de faire face aux pertes de paquets. En considérant que le protocole de transport est assez robuste pour maintenir la synchronisation au décodeur, l'enjeu principal pour améliorer la transmission est alors de faire en sorte que les pertes de paquets n'engendrent pas une augmentation trop importante de la distorsion entre le signal original et celui décodé.

## 2.1 Retransmissions systématiques au niveau radio

À un niveau de la couche RLC (Radio Link Control), les mécanismes de retransmission permettent de réduire le taux d'erreur par bloc constaté au niveau applicatif. Dans le cas d'applications temps réel strictes, si le délai introduit par les retransmissions est trop important, les paquets retransmis seront ignorés par l'application et l'effet induit sera équivalent à celui causé par la perte d'un paquet. Pour le streaming vidéo, le buffer côté client est dimensionné de façon à tolérer un délai moyen d'environ une seconde pour la transmission d'un paquet. Dans la plupart des cas, ce délai est compatible avec celui constaté dans un réseau 3G dans lequel est implémenté l'ARQ (Automatic Repeat Request). Par ailleurs, avec des taux d'erreurs élevés, les retransmissions auront pour conséquence l'augmentation significative de la consommation des ressources radio. Habituellement, les paquets RLC sont traités de façon identique sans différenciation et chaque paquet est retransmis indépendamment de ce qu'il contient, à condition que le délai ou le nombre de retransmissions maximum ne sont pas atteints. Des ressources radio supplémentaires sont alors mises à disposition même si le paquet ne transporte pas d'information critique. De la même façon, lorsqu'un débit garanti est négocié, les ressources radio sont réservées pour transmettre tous les paquets RTP sans les différencier, au détriment d'une allocation optimisée de la ressource entre utilisateurs. En l'absence de garanties sur le débit fourni, si les conditions du réseau se détériorent, les paquets RTP sont perdus sans distinction de leur contenu.

## 2.2 Codage des régions d'intérêt avec FMO

L'outil syntaxique FMO disponible dans H.264/AVC permet de partitionner une image en "slice group". Pour chaque image de la vidéo, il est possible de transmettre un ensemble d'informations de contrôle : Picture Parameter Set (PPS), dont le paramètre *slice\_group\_map\_type* spécifie le mode de la partition. Dans notre cas, nous utilisons le mode "explicit MB to slice group mapping" pour lequel chaque macrobloc est associé à un index entre 0 et 7 correspondant à un 'slice group' donné. Ce mode, qui est le plus souple en terme de découpage de l'image, est aussi le plus coûteux en information de contrôle à transmettre. Chaque slice group est encapsulé en tant que NAL (Network Abstraction Layer) unit qui correspond au payload RTP. Définir la carte d'indexation des macroblocs re-

vient alors à trouver une partition de l'image. Dans la partie 3, nous discutons de la façon d'obtenir cette partition et une méthode efficace de codage de la carte des macroblocs est ensuite proposée. Après partitionnement, le flux vidéo compressé est hiérarchisé et chaque slice group est transporté par un flux RTP distinct. Un flux RTP peut être identifié par l'intermédiaire du numéro du port UDP à la couche transport ou encore par une valeur spécifique du champ DiffServ : ToS (Type Of Service) à la couche IP. La subdivision du flux RTP original en plusieurs sous-flux engendre une multiplication des entêtes RTP. Pour limiter cet effet, un des modes de mise en paquet RTP permet d'agréger des paquets (NAL unit) possédant des instants d'échantillonnage différents à l'intérieur du même paquet RTP. Dans notre cas, nous faisons l'hypothèse de la mise en œuvre des mécanismes de RoHC (Robust Headers Compression) qui font passer la taille de l'entête RTP/UDP/IP de 40 à 4 octets en moyenne, ce qui devient négligeable comparé à la taille d'un paquet RTP.

## 2.3 Allocation des ressources

Dans les réseaux 3G, la QoS est définie à l'établissement de la session lorsqu'un RAB (Radio Access Bearer) est alloué. Chaque RAB est défini avec un ensemble d'attributs spécifiques connus du réseau et en particulier par l'ordonnanceur de paquets. Le traitement hiérarchique des données est ainsi rendu possible par l'activation d'un RAB avec des attributs de QoS spécifiques ( $\approx$  un canal avec une configuration spécifique) pour chaque slice group et le point d'entrée du réseau 3G assure la mise en correspondance entre les flux RTP et les RABs différenciés en QoS.

### 2.3.1 Un canal par session de streaming

Habituellement, le flux vidéo est encodé en utilisant un algorithme de contrôle de débit pour assurer un débit constant sur une fenêtre temporelle éventuellement large. Notons  $BR_s(t)$  le débit de la source compressée en fonction du temps,  $ABR_s$  (Average Source Bitrate) le débit à atteindre par l'algorithme de contrôle de débit et  $T$  la fenêtre temporelle pour le calcul des débits. La relation entre ces variables est donnée par :

$$ABR_s = \frac{1}{T} \int_0^T BR_s(t) dt \quad (1)$$

Pour les applications de la classe streaming, le canal de transport est négocié avec un débit garanti :  $GBR$  (Guaranteed BitRate) proche du débit moyen de la source [11], avec l'hypothèse que les buffers du réseau et du client peuvent absorber les variations de débit autour de  $ABR_s$ . Malgré cela, une augmentation ponctuelle de la bande passante pourra être nécessaire pour faire face aux retransmissions de paquets. Notons  $BRe(t)$  le débit effectif à la couche RLC (incluant les retransmissions) pour garantir le débit  $GBR$  au niveau applicatif. Ainsi, en définissant  $BLER$

comme le taux d'erreurs par bloc à la couche RLC, on peut écrire le débit moyen  $BRe(t)$  :

$$ABRe = \frac{1}{T} \int_0^T (BRe(t))dt = \frac{GBR}{1 - BLER} \quad (2)$$

Pour adapter la bande passante  $ABRe$  allouée à chaque utilisateur de la cellule, l'état du canal est évalué à travers des mesures de taux d'erreurs par bloc ( $BLER$ ). Si ce taux d'erreurs est nul, la bande passante est égale à  $GBR$ . La capacité d'une cellule est limitée et lorsque les conditions deviennent très mauvaises, la bande passante négociée  $GBR$  n'est plus assurée pour chaque utilisateur. Par la suite, nous supposons que la bande passante allouée à l'utilisateur est insuffisante pour pouvoir garantir le débit négocié  $GBR$ . Si tous les paquets vidéo sont transmis via le même canal, ils sont alors indifféremment perdus, entraînant une faible qualité perçue par l'utilisateur. Définissons l'index 0 comme l'index se référant au scénario avec un canal de transport unique. L'hypothèse précédente peut alors s'écrire :

$$GBR_0 \geq ABRe_0(1 - BLER) \quad (3)$$

### 2.3.2 Allocation différenciée de la bande passante

Si chaque image est découpée en  $N$  "slice groups" transmis via  $N$  canaux différents avec des attributs spécifiques, Eq. (3) devient :

$$\sum_{k=1}^N GBR_k \geq \sum_{k=1}^N ABRe_k(1 - BLER) \quad (4)$$

Suivant la politique en œuvre dans le réseau, un attribut de priorité ("traffic handling priority") peut être utilisé pour ordonnancer les paquets appartenant à des RABs différents. Néanmoins, lorsque des débits garantis sont négociés, ces attributs sont prédominants et la priorité entre RABs n'est utilisée que pour hiérarchiser l'allocation de ressources supplémentaires. Dans le contexte de cette étude, cet attribut est utilisé pour hiérarchiser la transmission des régions de l'image ("slice group") en fonction de leur importance relative au niveau psychovisuel. Les indices faibles correspondent aux paquets les plus prioritaires et les régions transmises avec une priorité faible sont perdues en premier lorsque les ressources se font rares. Pour simplifier, nous prendrons par la suite  $N = 2$ . De plus, la bande passante maximum disponible  $ABRe$  et le débit moyen de la source  $ABRs$  sont fixés à la même valeur quelque soit la stratégie envisagée (un canal unique ou proche avec QoS différenciée) :

$$\begin{aligned} ABRe &= ABRe_0 = ABRe_1 + ABRe_2 \\ ABRs &= ABRs_0 = ABRs_1 + ABRs_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Grâce à une priorité plus élevée accordée pour la transmission du slice group 1,  $ABRe_1$  peut augmenter jusqu'à atteindre  $ABRe$  tout en satisfaisant la contrainte :

$$GBR_1 = ABRe_1(1 - BLER) \leq ABRe(1 - BLER) \quad (6)$$

L'égalité  $ABRe_1 = ABRe$  est vérifiée lorsque  $BLER = BLER_{max}$ , qui correspond à une valeur fixée à l'avance. Au dessus de cette borne supérieure,  $ABRe_2 = 0$  et les conditions du canal de transport sont considérées comme n'étant pas assez bonnes pour permettre le maintien de la session. Nous pouvons donc écrire :

$$GBR_1 = ABRe(1 - BLER_{max}) \quad (7)$$

Comme nous l'avons mentionné précédemment, lorsqu'un algorithme de contrôle de débit est utilisé, on peut faire l'approximation  $GBR = ABRs$ . Le choix de la région d'intérêt revient alors à trouver une partition de l'image qui vérifie :

$$\begin{aligned} ABRs_1 &= ABRe(1 - BLER_{max}) \\ ABRs_2 &= ABRs - ABRs_1 \end{aligned} \quad (8)$$

La valeur attribuée à  $BLER_{max}$  dépend fortement du contenu de la vidéo et est associée à des mesures de qualité subjective. Plusieurs critères peuvent être utilisés. Un exemple qui tient compte du mouvement dans l'image est donné dans la partie suivante.

## 3 Codage source et régions d'intérêt

### 3.1 Définition de la région d'intérêt

En traitement d'image, la détection d'une région d'intérêt est souvent ramenée à un problème de segmentation sans hypothèses supplémentaires sur le contexte applicatif ou d'éventuels prétraitements sur le signal d'origine. Pour cette étude, nous avons fait l'hypothèse simplificatrice qu'un signal vidéo représente généralement des objets en mouvement sur un fond statique. Suivant cette hypothèse, les objets en mouvement représentent la région d'intérêt et les informations de mouvement issues de l'estimation de mouvement à l'encodage peuvent donc être utilisées pour détecter ces régions. Dans H.264, les vecteurs mouvements sont calculés par bloc et les plus petits blocs sont de taille  $4 \times 4$  pixels alors que FMO agit au niveau macrobloc ( $16 \times 16$  pixels). Dans nos simulations, pour créer cette partition, nous avons calculé le vecteur mouvement médian par macrobloc et la classification se fait ensuite en comparant cette valeur médiane à une valeur seuil. Ce seuil est directement lié au paramètre  $BLER_{max}$  dans la mesure où il permet d'agir sur le débit  $ABRs_1$ . La classification des macroblocs doit aussi tenir compte du fait que l'estimation de mouvement se fait à l'intérieur d'un "slice group" donné.

### 3.2 Codage de la carte après partitionnement

Dans H.264/AVC, le mode SKIP sert à coder un macrobloc sans transmettre d'information de mouvement et de résidu. L'élément de syntaxe  $mb\_skip\_run$ , indique le nombre de macroblocs SKIP avant d'atteindre un macrobloc encodé de façon effective. D'une façon générale,  $mb\_skip\_run$  peut être considéré comme un élément de signalisation

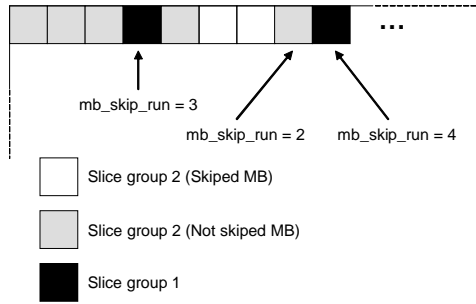


Figure 1 – Illustration du codage de la carte des macroblochs via l'élément de syntaxe *mb\_skip\_run*.

qui indique un ensemble de macroblochs appartenant à un “slice group” dont l’index est incrémenté de un par rapport à celui du “slice group” courant comme décrit Fig. 1. Ce “slice group” sera donc transmis via un canal moins prioritaire. Cette méthode permet ainsi de coder la correspondance entre macroblochs et “slice groups” sans avoir à coder une carte de façon explicite via l’entête PPS. De plus, si un “slice group” de faible priorité est perdu, le décodage peut se poursuivre avec les “slice groups” de priorités supérieures.

## 4 Résultats expérimentaux

### 4.1 Outils de simulation

Pour évaluer l’efficacité de l’approche proposée, des simulations ont été menées avec un simulateur (code C) fourni par le groupe vidéo de 3GPP [12]. Ce programme est un simulateur “offline” de sessions RTP sur un réseau 3G (GPRS, EDGE et UMTS). Les paquets en erreur sont simulés grâce à des masques d’erreurs issus de mesures réelles sur la couche physique [13]. Si le PDU RLC est

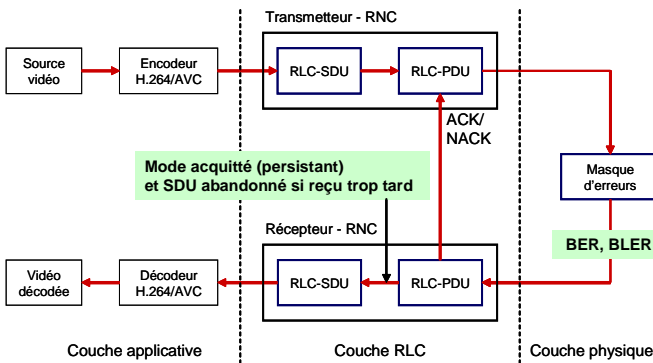


Figure 2 – Schéma du Simulateur.

erroné ou perdu, il est retransmis si le protocole RLC est en mode acquiescement comme décrit Fig. 2. Deux masques d’erreurs ont été utilisés pour cette étude (Tableau 1). Pour obtenir les résultats présentés dans la partie suivante, chaque simulation est répétée 64 fois, en incrémentant la position du premier bit lu dans le masque d’erreur à chaque simula-

Pattern	Bitrate	Time	BER	Blk_size
1	64 kbps	60s	$9.3e-3$	80 bytes
2	64 kbps	60s	$2.9e-3$	80 bytes

Tableau 1 – Caractéristiques des masques d’erreurs.

tion.

### 4.2 Résultats de simulations

Les simulations ont été menées avec trois séquences de test :

- *Mother and Daughter* (30 fps, QCIF, 900 frames) : fond fixe avec des objets en mouvement lent.
- *Paris* (30 fps, QCIF, 1065 frames) : fond fixe avec des objets moyennement mobiles.
- *Carphone* (30 fps, QCIF, 382 frames) : fond fixe avec des objets mobiles.

Les résultats sont présentés pour les deux stratégies d’allocation de ressource décrites partie 2.3 :

- Un canal par session de streaming (OneRAB).
- QoS différenciée en fonction du contenu de l’image (DiffQoS).

La fenêtre temporelle de l’équation (2) est égale à la durée de la séquence vidéo. Ceci est justifié par le choix de séquences relativement courtes dans lesquelles le débit nécessaire pour transmettre chaque “slice group” est considéré comme constant. Pour l’approche DiffQoS, le débit  $ABRe_1$  est alloué prioritairement conformément à l’équation (6). Ensuite, la ressource résiduelle  $ABRe_2 = ABRe - ABRe_1$  est utilisée pour transmettre le “slice group” 2. La méthode de codage décrite en 3.2 a été implémentée pour transmettre la carte des macroblochs. Par rapport à la transmission de cette même carte via l’entête PPS, le gain de compression est d’environ 50%.

#### 4.2.1 Robustesse en cas d’erreurs

Le tableau 2 présente les résultats obtenus avec le masque d’erreurs 1. Chaque canal est configuré avec un taux d’erreurs par bloc de 10.8%. La valeur seuil  $BLER_{max}$  utilisée pour le partitionnement est empiriquement fixée légèrement supérieure à ce taux. Pour chaque scénario, le débit disponible à la couche RLC est de 64 kbps et en retirant 4 octets/paquet d’entête RLC, le débit maximum  $ABRe$  disponible au niveau applicatif (au dessus de la couche RTP) est approximativement de 60.8 kbps. De plus, nous utilisons un algorithme de contrôle de débit à l’encodage afin d’obtenir :  $ABRs = 60$  kbps. Les valeurs

	<i>Mother&amp;Daughter</i>	<i>Paris</i>	<i>Carphone</i>
OneRAB	26.15 dB	24.5 dB	23.5 dB
DiffQoS	29.75 dB	26.4 dB	25.9 dB

Tableau 2 – Comparaison des deux approches avec le masque d’erreurs 1.

de PSNR mesurées sur toute la séquence montrent un gain pour la méthode proposée allant de 1.9 dB à 3.6 dB.

#### 4.2.2 Robustesse en cas de diminution du débit

Pour mesurer l'influence d'une diminution du débit, nous avons utilisé le masque d'erreur 2 en faisant varier le débit total disponible  $ABR_e$ . Les résultats sont présentés figure 3 pour la séquence Paris. Dans le cas d'une congestion du réseau par exemple, on voit que la méthode proposée supporte mieux les diminutions de débit et permet de délivrer une qualité acceptable dans un intervalle de débits plus important, bien que le débit négocié  $GBR$  ne soit plus garanti au niveau applicatif.

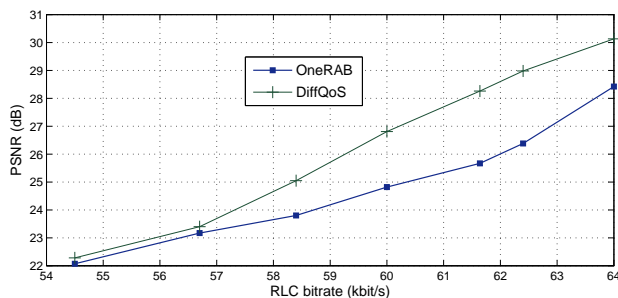


Figure 3 – Evolution de la qualité(PSNR) en fonction de la bande passante allouée.

#### 4.2.3 Variation de la qualité dans le temps

La capacité de notre méthode à mieux faire face à des erreurs en cascade est particulièrement bien illustrée par la figure 4. Au début de la session, les deux courbes ont le même comportement et autour de la 240<sup>ème</sup> image ( $t \approx 8s$ ), le PSNR pour la méthode de référence chute brutalement. Inversement, avec la stratégie proposée la diminution du PSNR est lente et les regains de qualité beaucoup plus rapides.

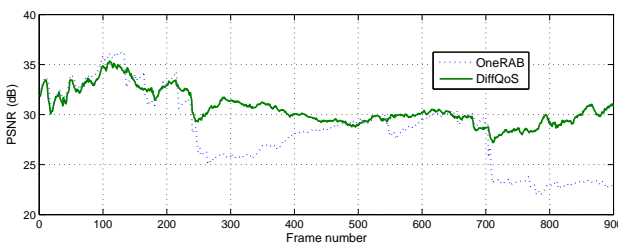


Figure 4 – Evolution du PSNR par image pour la séquence Mother and Daughter.

## 5 Conclusion et perspectives

Cette étude propose un schéma complet de streaming en environnement sans fil : depuis le codage source jusqu'à la configuration du canal de transport pour optimiser l'utilisation des ressources en différenciant la QoS suivant

le contenu de l'image. Le codage de la carte de partitionnement proposé à la partie 3.2 fournit une méthode générique et efficace pour transmettre les sous-flux de façon hiérarchique. Un autre intérêt de ce travail est de proposer une solution s'appuyant sur des outils standardisés : H.264 et FMO pour le codage source et la QoS différenciée au niveau canal. Dans un réseau 3G, l'ordonnancement de paquets traite les données mises en paquet en dessous de la couche IP. L'identification d'un RAB au niveau de la couche RLC est donc le seul moyen de transmettre des information sur le contenu de l'information depuis le niveau applicatif jusqu'à l'ordonnancement de paquets via les attributs de QoS. Les résultats de simulations valide notre approche dans laquelle les données sont traitées hiérarchiquement en fonction de leur importance sur la qualité perçue. Bien entendu, la définition d'une région d'intérêt est sujette à de plus amples investigations. Les prochains travaux s'intéresseront aux propriétés de scalabilité standardisées dans SVC pour mettre en œuvre des solutions optimisées d'ordonnement de paquets.

## Références

- [1] IUT Rec. H.264/ISO IEC 14996-10 AVC. Advanced video coding for generic audiovisual services. 2003.
- [2] T. Stockhammer and M.M. Hannuksela. H.264/avc video for wireless transmission. In *IEEE Wireless communications*, volume 12, pages 6–13, August 2005.
- [3] J. Reichel H. Schwarz T. Wiegand, G. Sullivan and M. Wien. Joint draft 9 of svc amendment. In *Joint Video Team (JVT), JVT-V.201*, Marrakech, Marocco, January 2007.
- [4] J. Apostolopoulos Yan Li, A. Markopoulou and N. Bambos. Joint packet scheduling and content-aware playout control for video streaming over wireless links. In *IEEE 7th Workshop on Multimedia Signal Proc.*, pages 1–4, October 2005.
- [5] C. Lamy-Bergot C. Bergeron and B. Pesquet-Popescu. Adaptive m-band hierarchical filterbank for compliant temporal scalability in h.264 standard. In *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Proc.*, volume 2, pages 69–72, 2005.
- [6] N.V. Boulgouris N. Thomos, S. Argyropoulos and M.G. Strintzis. Robust transmission of h.264/avc video using adaptive slice grouping and unequal error protection. In *IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo.*, pages 593–596, 2006.
- [7] E.V. Jones M.M. Ghandi, B. Barmada and M. Ghanbari. Unequally error protected data partitioned video with combined hierarchical modulation and channel coding. In *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Proc.*, volume 2, pages 529–532, May 2006.
- [8] P.A. Chou and Miao. Zhourong. Rate-distortion optimized streaming of packetized media. In *IEEE Trans. on Multimedia*, volume 8, pages 390–404, 2006.
- [9] S. Wee W. Tan J. Chakareski, J.G. Apostolopoulos and title = B. Girrod.
- [10] 3GPP. Quality of service (qos) concept and architecture. In *Tech. spec., Group Services and System Aspects, TS 23.107*, 2006.
- [11] 3GPP. Transparent end-to-end packet switched streaming service (PSS); RTP usage model. In *Tech. spec., Group Services and System Aspects, TS 26.937*, 2004.
- [12] Siemens 3GPP. Software simulator for MBMS streaming over UTRAN and GERAN. In *Doc. for proposal, TSG System Aspects Working Group4#36, Tdoc S4-050560*, 2005.
- [13] Qualcomm Europe S.A.R.L. 3GPP and Toshiba Corporation. Video network simulator and error masks for 3gpp services. In *Doc. for proposal, TSG System Aspects Working Group4#33, Tdoc S4-040803*, November 2004.