

THÈSE

Présentée à

L'UNIVERSITÉ BORDEAUX I
ÉCOLE DOCTORALE DE MATHÉMATIQUES ET
D'INFORMATIQUE

Par **Ismail Adel Djama**

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

SPÉCIALITÉ : INFORMATIQUE

**Adaptations *inter-couches* pour la diffusion des services
vidéo sans fil**

Cross-Layer Adaptations for wireless video streaming services

Soutenue le : 10 Novembre 2008

Devant la commission d'examen composée de :

Richard Castanet	Professeur, ENSEIRB	Président du jury
Samuel Pierre	Professeur, Université de Montréal	Rapporteur
Nazim Agoulmine	Professeur, Université d'Evry Val d'Essonne	Rapporteur
Pascal Lorenz	Professeur, Université of Haute Alsace	Examineur
Francine Krief	Professeur, ENSEIRB	Directrice de Thèse
Toufik Ahmed	Maître de conférences, ENSEIRB	Co-Directeur de Thèse
Dusson Christophe	Ingénieur de Recherche, Orange Labs	Invité

Abstract

One of the big challenges in the convergence of networks and services to the IP technology is to maintain the Quality of service (QoS) for audio/video streams transmitted over wireless networks to heterogeneous mobiles users. In this environment, the multimedia services should face many shortcomings caused mainly by the wireless channel unreliability and its sharing among many users. These shortcomings are increased by the terminals heterogeneity (i.e. decoding capability, memory storage, display resolution, etc.) which should receive, decode and display the multimedia streams.

In order to allow universal access to multimedia services anywhere, anytime and using any kind of terminal, the new generation of multimedia applications have to interact with their environment, on the one hand, to inform the underling network about their need in term of QoS, and on the other hand, to dynamically adapt their services according to the receiver terminal and the changing in network conditions.

In this context, we have proposed a new Cross-layer based streaming system to transmit audio/video streams over 802.11 networks. This new system, called XLAVS (Cross layer Adaptive video streaming), actively communicates with all network layers and the end receiver to determine the optimal adaptation that optimize the QoS of audio/video streams.

Our contributions focus mainly on the Cross-layer adaptations implemented on the XLAVS. These contributions are classified into two major categories: the bottom-up adaptations performed at the application level and the top-down adaptations performed at the 802.11 MAC level.

In the first category, our proposals have revolved around: (1) a dynamic adaptation of video throughput according to the physical rate available in the 802.11 network and (2) a join FEC and video throughput adaptation steered by the signal strength and the loss ratio.

In the second category, we have proposed two Cross-layer mechanisms at the 802.11 MAC level: (1) an adaptive 802.11 MAC fragmentation to find an optimal trade-off between the packet loss and the overhead introduced by the MAC layer and (2) a video frame grouping at MAC level that allows video stream to get access to the 802.11 channel proportionally to its throughput.

Keywords: *Cross-layer* adaptation, Quality of Service, 802.11 wireless networks, DVB-T networks, IPTV service, video adaptation, adaptive FEC.

Résumé

L'un des défis majeurs dans la convergence des réseaux et des services vers la technologie IP est le maintien de la qualité de service (QoS) des flux audio/vidéo transmis sur des réseaux sans fil pour des utilisateurs mobiles et hétérogènes. Dans cet environnement, les services multimédia doivent faire face à plusieurs inconvénients engendrés par le manque de fiabilité d'un canal sans fil et son partage par plusieurs utilisateurs. Ces inconvénients sont accentués par l'hétérogénéité des terminaux de réception (capacité de décodage, espace de stockage, résolution d'affichage, etc.) qui doivent recevoir, décoder et afficher les flux multimédia.

Afin d'assurer un accès universel aux services n'importe où, n'importe quand et en utilisant n'importe quel terminal d'accès, les applications multimédia de nouvelle génération doivent interagir avec leur environnement pour, d'une part, informer les réseaux sous-jacents de leur besoins en QoS, et d'autre part, adapter dynamiquement leurs services en fonction des terminaux de réception et des variations intempestives des conditions de transmission.

Dans ce contexte, nous proposons un nouveau système pour la transmission des flux audio/vidéo sur les réseaux 802.11 basé sur l'approche *Cross-layer*. Ce nouveau système, appelé XLAVS (Cross Layer Adaptive Video Streaming), communique activement avec l'ensemble des couches réseaux ainsi que le récepteur final pour déterminer l'adaptation optimale qui permet d'optimiser la QoS des flux audio/vidéo.

Nos contributions se focalisent principalement sur les adaptations *Cross-layer* mises en œuvre par le XLAVS. Ces contributions sont organisées en deux grandes catégories : les adaptations ascendantes exécutées au niveau applicatif et les adaptations descendantes exécutées au niveau MAC 802.11.

Dans la première catégorie, notre apport s'articule au tour de : (1) l'adaptation dynamique du débit vidéo en fonction du débit physique disponible dans le réseau 802.11 et (2) l'adaptation conjointe du taux de redondance FEC et du débit vidéo contrôlée par la puissance du signal et les taux de perte.

Dans la deuxième catégorie, nous proposons deux mécanismes *Cross-layer* au niveau MAC 802.11 : (1) une fragmentation 802.11 adaptative pour trouver un compromis entre les pertes de paquets et l'*overhead* introduit par les couches 802.11 et (2) un groupage des images vidéo au niveau MAC pour permettre au flux vidéo d'avoir un accès au canal 802.11 proportionnel à son débit.

Mot clés: L'adaptation *Cross-layer*, la qualité de service, les réseaux sans fil 802.11, les réseaux DVB-T, la convergence des réseaux, le service IPTV, l'adaptation vidéo, la FEC adaptative.

Tables des matières

Abstract	iii
Résumé	iv
Tables des matières	v
Liste des figures.....	ix
Liste des tableaux.....	xii
Remerciements	xiv
Liste des Publications	xv
Chapitre 1 Introduction	1
Chapitre 2 L'état de l'art.....	5
2.1 Introduction.....	5
2.2 Les limites de l'architecture en couches pour intégrer les réseaux IEEE 802.11 et transporter les flux multimédia.....	6
2.2.1 La couche Physique IEEE 802.11	6
2.2.1.1 Les standards IEEE 802.11	6
2.2.1.2 L'évanouissement du signal dans un canal 802.11	8
2.2.1.3 Les mécanismes pour palier l'évanouissement du signal	9
2.2.1.4 Discussion	10
2.2.2 La couche d'accès IEEE 802.11	10
2.2.2.1 L'accès au canal dans la couche MAC 802.11.....	10
2.2.2.2 La livraison fiable dans la couche MAC 802.11	12
2.2.2.3 La QoS au niveau de la couche MAC 802.11	13
2.2.2.4 Le standard IEEE 802.11e	15
2.2.2.5 Discussion	16
2.2.3 La couche réseau	17
2.2.3.1 Le service garanti (IntServ : Integrated services).....	18
2.2.3.2 La différenciation de service au niveau IP (Differentiated services) :	19
2.2.3.3 L'architecture MPLS	21
2.2.3.4 La négociation de la QoS de bout-en-bout.....	22
2.2.3.5 Discussion	24
2.2.4 La couche transport	24
2.2.4.1 Les algorithmes de contrôle de congestion pour les flux multimédia	26
2.2.4.2 Le protocole SCTP	28
2.2.4.3 Le protocole DCCP.....	29
2.2.4.4 Discussion	30

2.2.5	La couche Application.....	31
2.2.5.1	Les protocoles multimédia.....	32
2.2.5.2	Les standards de codage vidéo et le codage vidéo hiérarchique.....	33
2.2.5.3	La QoS applicative pour la transmission vidéo	34
2.2.5.4	Discussion	38
2.3	Les architectures <i>Cross-layer</i> pour les réseaux sans fil.....	39
2.3.1	Le concept du <i>Cross-layer</i>	39
2.3.2	La communication dans les architectures <i>Cross-layer</i>	40
2.3.2.1	Communication directe entre les couches.....	40
2.3.2.2	Communication via une base de données partagée	41
2.3.3	Les approches du <i>Cross-layer</i> dans les réseaux sans fil.....	41
2.3.3.1	Les approches ascendantes (Bottom-up).....	42
2.3.3.2	Les approches descendantes (Top-down).....	44
2.3.3.3	Les approches mixtes (Integrated).....	45
2.3.4	Discussion.....	49
2.3.5	Les projets Européens traitant la problématique <i>Cross-layer</i>	50
2.3.5.1	Le projet 4MORE	50
2.3.5.2	Le projet PHOENIX.....	50
2.3.5.3	Le projet ENTHRONE II	50
2.4	Conclusion	51
Chapitre 3 Proposition d'une architecture <i>Cross-layer</i> pour les services IPTV sans fil		52
3.1	Introduction.....	52
3.2	Contexte général.....	53
3.2.1	La convergence des réseaux de diffusion, de télécommunications et de données ..	53
3.2.1.1	Les réseaux de nouvelle génération (NGN : Next Generation Network)	54
3.2.1.2	L'architecture IMS (Internet Multimedia Subsystem)	55
3.2.2	Le concept UMA (Universal Multimedia Access).....	55
3.2.2.1	Les techniques d'adaptation.....	57
3.2.2.2	Les approches d'adaptation	57
3.2.2.3	L'adaptation MPEG-21	58
3.3	Motivations pour interconnecter les réseaux DVB-T et les réseaux IP/802.11	61
3.4	L'architecture d'interconnexion du réseau DVB-T aux réseaux IP/802.11 WLAN ...	63
3.4.1	Les services IPTV.....	64
3.4.2	Les réseaux DVB-T (Digital Video Broadcast- Terrestrial)	66
3.4.2.1	Le MPEG-2 Transport Stream	67
3.4.2.2	Les tables de signalisation DVB.....	67
3.4.3	L'interconnexion entre le réseau DVB-T et le cœur du réseau IP	68
3.4.3.1	Le TVSP (TV Stream Provider).....	68
3.4.3.2	La transmission multicast dans le cœur du réseau	70
3.4.4	L'interconnexion entre le cœur du réseau IP et le réseau d'accès 802.11.....	71
3.4.4.1	La passerelle d'adaptation XLAG.....	71
3.4.4.2	L'architecture du XLAVS (Cross Layer Adaptive Video Streaming)	73

3.4.4.3	L'architecture du XLDP (Cross Layer Decision Point).....	75
3.4.4.4	Le fonctionnement du XLAVS et les adaptations <i>Cross-layer</i>	76
3.4.4.5	L'adaptation au début de la session.....	77
3.4.4.6	L'adaptation au cours de la session	79
3.4.5	Mise en oeuvre de l'architecture.....	79
3.5	Conclusion	81
Chapitre 4	Les adaptations <i>Cross-layer</i> ascendantes exécutées au niveau applicatif.....	82
4.1	Introduction.....	82
4.2	L'adaptation du débit vidéo en fonction du débit physique 802.11	83
4.2.1	Motivation	83
4.2.2	Les algorithmes de contrôle du débit physique 802.11	84
4.2.2.1	Les RCAs basés sur des statistiques (Statistics-based)	84
4.2.2.2	Les RCAs basés sur le SNR (SNR-based).....	85
4.2.2.3	Les RCAs hybrides (Hybrid)	86
4.2.3	L'adaptation dynamique du débit vidéo au cours de la transmission.....	87
4.2.3.1	Le codage vidéo MPEG.....	87
4.2.3.2	Techniques d'adaptation dynamique du débit vidéo	88
4.2.4	L'adaptation du débit vidéo en fonction du débit Physique 802.11.....	91
4.2.4.1	L'estimation du débit applicatif à partir du débit physique	92
4.2.4.2	Mise en œuvre de l'adaptation du débit au niveau du XLAG.....	95
4.2.5	Tests et évaluations de performance	96
4.2.5.1	L'adaptation en utilisant différents RCAs	97
4.2.5.2	L'adaptation en utilisant plusieurs stations.....	101
4.3	Adaptation conjointe de la FEC et du débit vidéo en fonction de la puissance du signal et des taux de perte.....	104
4.3.1	Motivation	104
4.3.2	Le mécanisme FEC au niveau paquet.....	105
4.3.2.1	Le code XOR (eXclusive OR)	106
4.3.2.2	Le code RS (Reed Salomon)	106
4.3.2.3	Le code LDPC (Low Density Parity Check)	107
4.3.3	L'adaptation conjointe du débit vidéo et du taux de redondance FEC.....	107
4.3.3.1	Mise en œuvre de l'adaptation au niveau du XLAG	110
4.3.4	Tests et évaluations de performance	111
4.3.4.1	Évaluation du mécanisme FEC adaptatif.....	113
4.4	Conclusion	116
Chapitre 5	Les adaptations <i>Cross-layer</i> descendantes exécutées au niveau MAC	
802.11		118
5.1	Introduction.....	118
5.2	La fragmentation adaptative au niveau MAC 802.11	119
5.2.1	Motivation	119
5.2.2	Comparaison entre les niveaux de fragmentation au niveau du XLAG.....	120

5.2.2.1	La fragmentation au niveau applicatif.....	120
5.2.2.2	La fragmentation au niveau réseau.....	121
5.2.2.3	La fragmentation au niveau MAC 802.11	121
5.2.2.4	La plateforme d'expérimentation.....	122
5.2.2.5	Tests et évaluations de performance.....	123
5.2.3	La fragmentation adaptative <i>Cross-layer</i> au niveau MAC 802.11	127
5.2.3.1	Déterminer la taille idéale d'une trame	127
5.2.3.2	Déterminer la limite inférieure pour la taille d'une trame.....	129
5.2.3.3	Le fonctionnement de la fragmentation adaptative au niveau du XLAVS.....	130
5.2.3.4	Tests et évaluations de performance	131
5.3	Le groupage de trames basé sur l'image vidéo	135
5.3.1	Motivation	135
5.3.2	Le principe du groupage de trames (frame grouping)	135
5.3.3	Le principe du groupage de trames MAC basé sur l'image vidéo	137
5.3.3.1	Mise en œuvre du VFG au niveau du XLAG.....	139
5.3.4	Tests et évaluations de performance	140
5.3.4.1	Évaluation du VFG par rapport à un groupage fixe	140
5.3.4.2	La capacité du VFG à assurer la bande passante	146
5.4	Conclusion	148
Chapitre 6	Conclusion et Perspectives.....	150
6.1	Principales contributions	151
6.2	Perspectives et nouveaux défis	152
Références		154
A	Annexe	163
A.1	L'en-tête de la couche PHY 802.11	163
A.2	L'en-tête de la couche MAC 802.11.....	163
A.3	L'en-tête d'un paquet TS	164
A.4	L'en-tête du protocole RTP	165
Liste des abréviations		167