

Algorithme d'allocation de ressources hybride pour un système GPRS

Tarek Bejaoui^{1,2}, Véronique Vèque¹, Sami Tabbane²

¹Institut d'Electronique Fondamentale – CNRS UMR 8622 - Université Paris Sud, France

²Unité de recherche en Technologies de l'Information et de la Communication (UTIC)

Ecole Supérieure des Communications de Tunis, Tunisia

E-mail: tarek.bejaoui@ief.u-psud.fr; veronique.veque@ief.u-psud.fr;

sami.tabbane@supcom.rnu.tn

Résumé: Dans les réseaux GSM/GPRS, des services orientés circuits et paquets sont supportés par l'interface radio et le sous-système réseau. Tout comme les services UMTS, les services GPRS introduisent différents profils de qualité de service. Dans ce contexte, les canaux radio agissent comme le goulet d'étranglement du réseau et une attention particulière doit être portée à la conception des politiques d'allocation de ressources efficaces. De telles politiques, considérées comme fonctions clés aussi bien en phase 2+ qu'en troisième génération des réseaux mobiles, définissent les règles de gestion pour chaque classe de trafic, dans le but d'optimiser le taux d'utilisation et de satisfaire les multiples contraintes de qualité de service. Dans cet article, nous avons évalué et comparé plusieurs schémas d'allocation de ressources en ne considérant que trois types de service de données à savoir : interactif, transfert long et sans garantie. Notre système de simulation prend en compte à la fois l'évolution temporelle et spatiale (mobilité des utilisateurs et environnement de propagation dans lequel ils évoluent) du trafic. Finalement, une nouvelle fonction optimale de priorité est proposée et évaluée par simulation.

Mots-clés: GPRS, allocation de ressources radio, profils de QoS.

1 Services de données et GPRS

1.1 Introduction

Initialement, le système GSM a été conçu pour offrir principalement un service de téléphonie orienté circuit et permet aussi le transfert des données en mode circuit à un débit limité de 9,6 kbit/s. Dans le but d'étendre les capacités des réseaux GSM à des services de données à plus haut débit, l'ETSI (European Telecommunications Standard Institute) a spécifié le service GPRS (General Packet Radio Service) qui repose sur une infrastructure GSM. GPRS fournit des services orientés paquets pour transmettre des données sur l'interface radio avec un débit utilisateur nettement supérieur à celui offert par le réseau GSM. Ce type de réseau supporte plusieurs trafics non homogènes et satisfait plusieurs contraintes de qualité de service. Dans ce contexte, une gestion efficace des ressources radio, par l'intermédiaire de politiques d'allocation optimales, s'avère indispensable pour remédier à la limitation du nombre de ressources radio disponibles sur l'interface radio des réseaux cellulaires, notamment ceux de deuxième et de troisième génération. Ces politiques consistent à définir des règles de gestion des ressources pour chaque classe de trafic dans le but d'optimiser le taux d'utilisation et de satisfaire de multiples contraintes de qualité de service. Leur efficacité est démontrée en évaluant leurs performances, soit par simulation soit par modélisation analytique [17]. Dans la plupart des travaux, les évaluations des politiques d'allocation de ressources en GPRS, ont été réalisées en considérant uniquement des trafics de données homogènes [9,11,13]. Cependant, dans le monde réel, les réseaux GPRS peuvent supporter simultanément diverses classes de trafic. Et comme pour les services UMTS, on peut différencier plusieurs profils de QoS [16], caractérisés par leurs contraintes de délai, débit, fiabilité ou leur niveau de priorité en cas de congestion.

Dans ce travail, nous avons évalué et comparé plusieurs schémas d'allocation de ressources en considérant trois types de services : navigation sur le Web, transmission d'images en JPEG et messagerie électronique, appartenant respectivement aux classes de services "*interactive*", "*transfert long (background)*" et "*sans garantie (best-effort)*". Nous avons étudié l'influence des variations des trafics "*interactif*" et "*background*" sur les performances du réseau GPRS. Leur évolution temporelle et spatiale est prise en considération. La variation temporelle du trafic est représentée par sa loi d'arrivée, sa durée d'appel ou sa longueur de paquet pour différents types de services. La variation spatiale quant à elle, caractérise la mobilité des utilisateurs dans les cellules du système et l'environnement de propagation dans lequel évoluent les mobiles en communication. Cet article est

organisé comme suit: le paragraphe suivant rappelle quelques caractéristiques du réseau GPRS. Le paragraphe 3 introduit la gestion des ressources radio en considérant les classes de trafics WWW, transmission d'images en JPEG et le transfert de fichier en "best-effort". Dans le quatrième paragraphe, nous décrivons notre réseau cellulaire, les paramètres de mobilité, les modèles de trafic et les scénarios simulés pour chaque politique d'allocation de canaux étudiée. Finalement, nous proposons un nouveau schéma d'allocation de ressources radio hybride que nous comparons aux politiques précédentes.

1.2 Caractéristiques du GPRS

La mise en place du réseau GPRS a nécessité l'introduction de deux nouvelles entités physiques dans le réseau GSM existant, dédiées à l'acheminement et au routage des paquets de données entre les stations mobiles et les réseaux de données (PDN) [1,2]. Ces deux entités sont appelées "Serving GPRS Support Node (SGSN)" et "Gateway GPRS Support Node (GGSN)". Le GPRS est un réseau d'accès GSM/TDMA (Time Division Multiple Access). Le débit binaire alloué par utilisateur peut atteindre théoriquement 170 kbit/s, mais les interférences du système et les performances des terminaux mobiles limitent le débit transmis en multislot sur la trame TDMA à pratiquement 115 kbit/s. Les trafics GPRS sont transmis en utilisant des canaux PDCH (Packet Data Channels) sélectionnés parmi l'ensemble des canaux de trafic disponibles dans la cellule. Ainsi, les ressources radio d'une cellule sont partagées entre les utilisateurs des services de données GPRS et les utilisateurs du service voix. L'attribution des canaux physiques aux services orientés paquets ou circuits se fait d'une manière dynamique.

Elle dépend des requêtes de réservation, de la priorité du service et de la classe multislot à laquelle appartient le mobile en communication. Ce mobile, souhaitant transférer des données en mode paquet, doit tout d'abord s'inscrire ou se déclarer au réseau GPRS et ensuite effectuer une requête aléatoire PCR (Packet Channel Request) sur le canal PRACH (Packet Random Access Channel) de la liaison montante. Cette requête d'accès aléatoire nécessite un délai d'une seule trame TDMA, suffisant pour transmettre les bits de signalisation du message. Quant aux canaux physiques, non utilisés par les mobiles de type voix, ils peuvent être alloués comme des PDCH afin d'augmenter le taux de transmission des paquets des services GPRS.

Afin d'optimiser l'utilisation du canal radio, quatre schémas de codage (CS1 à CS4) ont été standardisés qui dépendent du rapport signal à bruit mesuré par le contrôleur de station de base. Ils utilisent un schéma de codage convolusionnel différent permettant le transfert d'un débit binaire de 9.05 kb/s, 13.4 kb/s, 15.6 kb/s et 21.4 kb/s respectivement.

2 Gestion des ressources radio

2.1 Les services de données GPRS

Dans notre étude, nous considérons deux types d'appels, voix et données. On suppose que chaque utilisateur GPRS initiant un transfert de données est susceptible d'utiliser soit le Web, soit la transmission d'images JPEG ou la messagerie. Ces applications appartiennent respectivement aux trois classes de services : "interactive", "background" et "best-effort", proposées dans [15] et définies pour les réseaux GPRS et UMTS. Chacun de ces services est caractérisé par un ensemble de paramètres de qualité de service, dont plusieurs sont évalués dans notre étude. Pour le service GSM conventionnel de type voix, les paramètres les plus importants sont les probabilités de blocage et de coupure de communication, alors que pour les services orientés paquets, sont considérés le délai d'accès moyen et les probabilités de perte de paquets.

La satisfaction d'un utilisateur mobile actif dans chaque cellule dépend du profil de QoS négocié avec le réseau. Nous supposons qu'un utilisateur de la voix est satisfait :

- s'il n'est pas bloqué à l'arrivée au système
- si sa communication n'est pas coupée, suite à une mauvaise qualité du lien radio ou au manque de ressources disponibles dans la cellule.

Un utilisateur de données GPRS est satisfait si :

- aucune perte de paquets ne se produit suite à une congestion du buffer de la BSC,
- pour les trafics Web et JPEG, les temps d'attente respectifs des paquets dans le buffer ne dépassent pas 5 et 50 secondes.

Les applications "best-effort" n'ont pas de contraintes de délai.

2.2 Les algorithmes d'allocation de ressources pour GPRS

Plusieurs politiques de gestion de ressources radio ont été proposées et portent principalement sur le contrôle d'accès multiple sur le canal d'accès aléatoire. Concernant les politiques d'ordonnement des requêtes, elles sont moins étudiées et ne prennent que rarement en considération les divers profils de QoS en GPRS.

[13] propose une réservation statique ou dynamique de PDCH avec une mise en file d'attente des appels de type voix. [14] étudie la méthode d'allocation FIFO où les appels voix peuvent emprunter des canaux aux appels GPRS et les interrompre pendant plusieurs unités de temps. [9] s'intéresse aux schémas de réservations statiques et dynamiques et montre que la politique dynamique basée sur le WFQ (Weighted Fair Queueing) est la plus avantageuse.

Nos schémas d'allocation de ressources se basent sur l'allocation de *time-slots* dans les trames TDMA. Nous considérons que l'allocation des ressources est faite dans la BSC c'est-à-dire au plus près du lien radio, ce qui n'est pas prévu dans la norme à l'heure actuelle. La trame TDMA est envoyée périodiquement toutes les 4.615 ms [8] qui représente l'unité de temps d'allocation (5ms) et correspond à l'unité de temps de simulation dans notre simulateur à temps discret. A chaque unité de temps, nous devons exécuter une allocation de *time-slots* aux terminaux mobiles en compétition dans la cellule. L'allocation ne devient effective que pour les terminaux mobiles ayant satisfait les conditions de contrôle de puissance. Cette partie dépend de la politique de gestion des ressources radio.

Dans le but de réduire le délai moyen d'accès d'un paquet, nous considérons une politique d'allocation de ressources flexible décrite dans ce qui suit. Sur l'interface radio, les appels voix ont la priorité sur tous les autres appels GPRS à l'exception de ceux qui sont assignés aux canaux PDCH, dédiés aux trafics orientés paquets. Supposons qu'on dispose dans une cellule de L canaux libres, au moment de l'arrivée d'une requête GPRS qui nécessite K canaux pour la transmission:

- si les ressources disponibles sont suffisantes pour satisfaire le service requis ($K \leq L$), alors la BSC du réseau attribue K canaux à la requête
- si les ressources disponibles ne sont pas suffisantes pour satisfaire la demande ($0 < L < K$), alors L canaux sont alloués à la requête, et les paquets restants seront placés en file d'attente.
- si ($L = 0$), la requête d'appel est mise en file d'attente
- si le trafic est transmis avec un taux inférieur, il peut restaurer le taux de transmission initialement requis lorsque les ressources deviennent disponibles.
- Les paquets des requêtes mis en file d'attente appartiennent aussi bien aux appels initiés qu'aux appels en handover.

Dans cet article, nous avons étudié quatre politiques d'ordonnement des requêtes de transfert de données : First In First Out (FIFO), FIFO avec priorité [9], Round Robin (RR) et Weighted Fair Queueing (WFQ) [7, 9]. FIFO agit comme une politique étalon, simple et équitable mais sans garanties de QoS. Le schéma prioritaire donne les meilleures performances pour la plupart des services prioritaires. Les politiques WFQ et RR présentent des caractéristiques intéressantes en termes de débit effectif et délais.

First In First Out: les requêtes de transfert de données sans en attente dans leur ordre d'arrivée et servies selon un ordre FIFO. Lorsqu'un utilisateur libère un PDCH, les paquets en attente de l'utilisateur suivant seront servis, indépendamment de leurs priorités et de leur demande de QoS.

First In First Out avec priorité: trois niveaux de priorité ont été définis pour les services à commutation de paquets. Appartenant à une classe de trafic "interactive", les paquets relatifs au service WWW sont toujours servis en premier. La priorité moyenne est attribuée à la classe de trafic "background" alors que la plus faible priorité est assignée aux utilisateurs "best-effort" [15]. Par exemple, le service de transmission d'images JPEG ne sera servi que si aucun paquet WWW n'est mis en attente dans la file.

Round Robin: cet algorithme fonctionne comme un ensemble de files FIFO avec un serveur Round Robin dont le cycle d'allocation est un "block period".

Weighted Fair queueing: à chaque source de trafic est attribuée une quantité de ressource régulée qui dépend de la quantité totale de ressources demandée par tous les utilisateurs dans la file. Pour une requête placée en file d'attente, la portion de bande passante $B_i(t)$ allouée à un temps t doit être [9]:

$$B_i(t) = (w_i / \sum_j w_j) \cdot B(t) \quad (1)$$

où w_i représente la quantité de ressources demandée par un utilisateur i , $B(t)$ correspond à la quantité totale de ressources disponibles dans la trame TDMA et $\sum_j w_j$ le nombre total de ressources requis par tous les utilisateurs dans le buffer.

3 Simulation

3.1 Le modèle de réseau

Nous avons considéré un réseau GSM classique avec sept motifs comportant chacun trois micro-cellules hexagonales (rayon de 500m). Chaque cellule dispose de huit canaux partagés dynamiquement aussi bien par les utilisateurs GSM que par les utilisateurs GPRS. La priorité haute pour l'allocation est toujours attribuée aux appels voix GSM.

Le système cellulaire est supposé sphérique afin de minimiser les effets de bord. Pour chaque cellule, 2 canaux PDCH sont explicitement réservés aux services GPRS, mais parmi les canaux restants libres dans la trame, des PDCH seront alloués dynamiquement [10].

Le taux de transfert, à travers un PDCH est dynamique tout le long de la simulation et dépend du schéma de codage utilisé. Le schéma de codage dépend de la qualité de communication à travers un PDCH, caractérisé par le rapport porteuse-sur-interférence (CIR).

3.2 Le modèle de mobilité

Dans la configuration cellulaire définie précédemment, les utilisateurs initient leur communication, se déplacent à l'intérieur de la cellule et passent d'une cellule à une autre avec une vitesse qui dépend du type du mobile.

Deux types de mobiles sont considérés : véhicules et piétons qui incluent tous les utilisateurs GPRS. Chacun d'entre eux est caractérisé par sa position et sa direction dans la cellule, calculées toutes les 0,5s, considérée comme l'unité de temps de mobilité.

Au même moment, la procédure de contrôle de puissance est exécutée en considérant le rapport porteuse-sur-interférence C/I relatif à chaque mobile en communication. Ce paramètre prend en compte les interférences et la puissance du signal montant transmis par chaque utilisateur mobile, desquelles dépend le schéma de codage considéré, et en conséquence, le débit offert par le canal. Le calcul des puissances montantes et descendantes prend en considération les altérations que subit le signal radio suite aux pertes de propagation dues à la distance parcourue par l'onde radio (pathloss), aux évanouissements de Rayleigh (fading de Rayleigh) et à l'effet de masque (shadowing). Pour les mobiles qui changent de station de base en cours de communication, la procédure du *handover* est exécutée conformément à la méthode préconisée dans la norme GSM, à chaque temps de mobilité. Un handover vers une nouvelle station de base ne peut être exécuté que si le niveau du rapport C/I descend en dessous du seuil prédéfini, alors que la puissance d'émission du mobile atteint son niveau maximal et que celle de la station de base cible dépasse celui de la station de base courante d'une valeur au moins égale à la marge d'hystérésis prédéfinie [8]. Le mobile ne peut réussir enfin son handover que bien évidemment si cette station de base cible dispose des ressources nécessaires.

3.3 Le modèle de trafic

Le tableau 1 présente les paramètres relatifs à notre modèle de trafic. Il caractérise la variation temporelle du trafic. Les arrivées et les durées de communications sont statistiquement distribuées selon des paramètres spécifiques à chaque type de service. Nous supposons que 70% des arrivées d'appels sont de type voix et les 30% restantes correspondent aux utilisateurs de données GPRS de type WWW, E-mails et transmission d'images en JPEG.

Paramètres	Distribution	Valeurs moyennes
Inter-arrivée des appels GSM	Bernouilli	0 – 120s
Durée des appels GSM	Bernouilli	120 s
Inter-arrivée des appels GPRS Interac. et Best-Effort	Bernouilli	0 – 120s
Inter-arrivée des appels données Background	Bernouilli	0 – 20min
Temps max. d'attente des paquets dans le buffer avant trans.	Constante	2 s
Taille moyenne des images JPEG	Géométrique	4 koctets
Taille de la requête pour le télécharg. Des pages HTML		30 octets
Taille moyenne des E-mail	Géométrique	18.5 Koctets

Tab. 1 – Paramètres des différents types de trafic de données

Ces derniers appartiennent aux classes multislots. 70% d'entre eux nécessitent un time slot, alors que 20% et 10% transmettent respectivement sur deux et trois time slots. Nous considérons que les utilisateurs du service "Web browsing" transmettent sur un seul time slot sur le lien montant.

3.4 Scénario simulé et résultats

Dans cette étude, nous avons évalué et comparé quatre politiques d'allocation de ressources radio, comme décrites auparavant: FIFO, FIFO avec priorité, Round Robin et WFQ en considérant des applications de type "Web browsing", "transmission d'images en JPEG" et "E-mail". Nous avons étudié l'effet des variations du trafic de ces classes de services "interactive", "background" et "best-effort", sur les performances du réseau GPRS. L'évolution spatiale et temporelle du trafic est prise en considération.

Les principaux paramètres pris en compte sont : le délai moyen d'accès des paquets, la probabilité de perte de paquets, le pourcentage d'utilisateurs satisfaits et la probabilité de blocage. Les pertes de paquets sont dues au temps d'attente excessif dans le buffer (plus de 2s).

Chacun de ces paramètres a été évalué en faisant varier le taux d'arrivées de chaque classe de trafic. Les résultats obtenus montrent évidemment que la politique prioritaire favorise la classe de trafic Web, en termes de débit et de délai. Sous de fortes charges de trafic Web, le JPEG ne peut être transféré davantage. Quant à la politique WFQ, elle est favorable aux transferts des applications JPEG et best effort, qui nécessitent une quantité de ressources importante. Cependant, pour de faibles charges de trafic JPEG et best-effort, cette politique est plus judicieuse pour la classe "interactive". Finalement, la politique Round Robin donne des performances moins bonnes, mais néanmoins acceptables en la comparant à toutes les autres politiques simulées pour l'ensemble de mobiles utilisant diverses classes de services. Son inconvénient réside dans la complexité de son implémentation. Ainsi, les schémas d'allocation de ressources décrits précédemment limitent les performances du système aussi bien pour les service "Web browsing" (en utilisant la politiques WFQ), que pour le service transmission d'images en JPEG (en considérant la politique FIFO avec priorité). C'est pourquoi nous proposons une alternative de politique d'allocation qui prend les meilleures propriétés de tous les algorithmes comparés. Notre approche est décrite dans la section suivante.

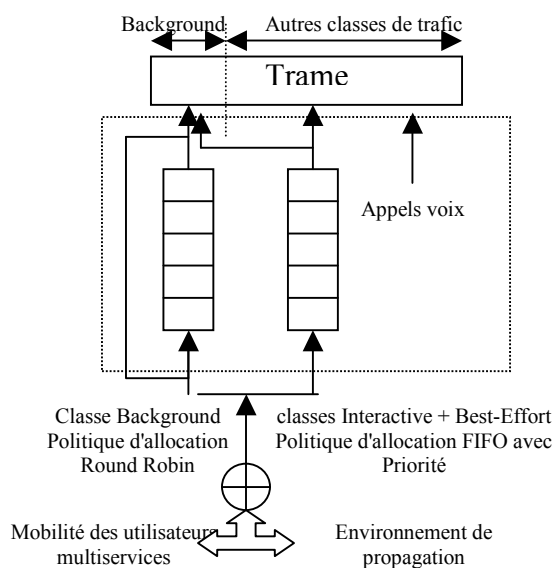


Fig. 1: Politique d'Allocation de Ressources Hybride

4 Une nouvelle politique d'allocation de ressources

4.1 Partition et schéma d'allocation hybride

Le nouveau schéma d'allocation de ressources hybride (cf figure 1) prend les meilleures propriétés de toutes les politiques comparées. Comme nous avons conclu que le WFQ favorisait le transfert du JPEG, nous pensons qu'il est approprié de réserver un PDCH pour ce service, comme présenté à la figure 1.

Ainsi, les canaux PDCH sont partagés en deux blocs : un bloc dédié au transfert de la classe de service "background" et un bloc dédié aux autres services. Comme nous ne distinguons aucun niveau de priorité dans le transfert des services de la classe "background", les PDCH attribués aux utilisateurs JPEG sont partagés entre

eux selon l'algorithme Round Robin qui est équitable. Dans notre étude, nous avons simulé deux scénarios pour lesquels 1 ou 2 canaux dédiés sont destinés à l'application de la classe de service "background". Nous avons conclu que les résultats optimaux sont obtenus en allouant uniquement un PDCH au JPEG. La partition des canaux PDCH est fixée mais non hermétique. Ainsi, les canaux physiques non couramment utilisés par les utilisateurs de la classe "background", peuvent être alloués aux applications "interactive" et "best-effort" dans le but d'améliorer leur qualité de service. L'autre partition est utilisée par les services "interactive Web browsing" et "best-effort". Et comme le délai d'accès est le paramètre de QoS le plus contraignant pour la classe de service "interactive", cette dernière est considérée comme la plus prioritaire, alors que la priorité la plus faible est attribuée au service E-mail. Ainsi, l'allocation des ressources pour ces types de services se fait selon l'algorithme FIFO avec priorité.

4.2 Evaluation de la politique hybride

Comme le montre les figures suivantes, la nouvelle politique donne les meilleures performances à l'application JPEG, pour laquelle est réservé un canal PDCH dans la trame. Cependant, le trafic Web a la plus haute priorité pour transmettre sur les autres canaux, lorsqu'ils ne sont pas utilisés par les appels voix. Il a également la plus haute priorité pour transmettre sur le canal dédié au service JPEG lorsqu'il est libre. Pour ce type de trafic, la QoS n'est pas pénalisée par cette réservation, et ce nouvel algorithme hybride donne de meilleurs résultats que le schéma d'allocation Round Robin. Il donne en revanche des résultats comparables à l'algorithme FIFO avec priorité pour l'application "best-effort", ce qui était le but recherché.

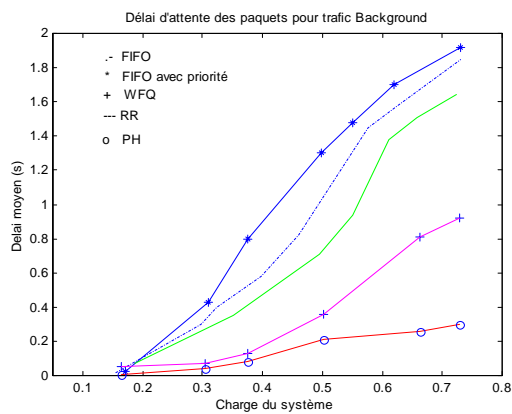


Fig. 2: Délai d'attente des paquets JPEG dans le buffer en fonction de la charge

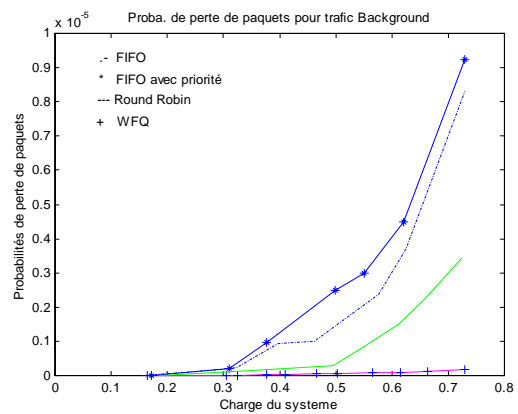


Fig. 3: Proba. de perte de paquets JPEG en fonction de la charge avec 4 politiques

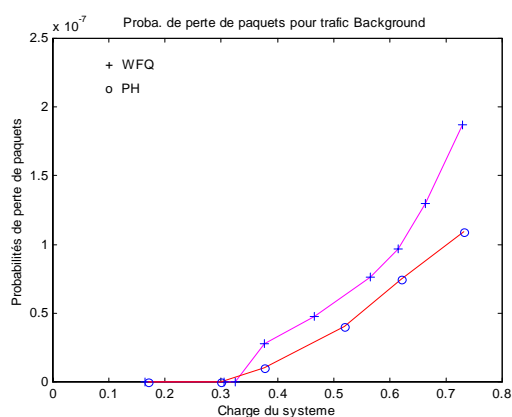


Fig. 4: Proba. de perte de paquets JPEG en fonction de la charge : comparaison avec la politique hybride

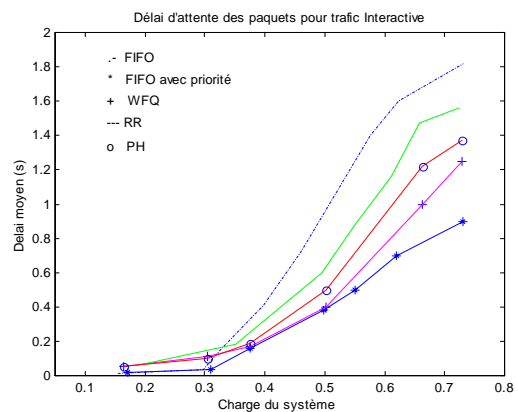


Fig. 5: Délai d'attente des paquets WWW dans le buffer en fonction de la charge

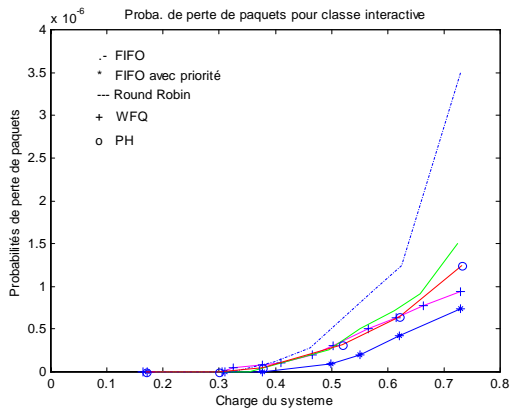


Fig. 6: Proba. de perte de paquets WWW en fonction de la charge

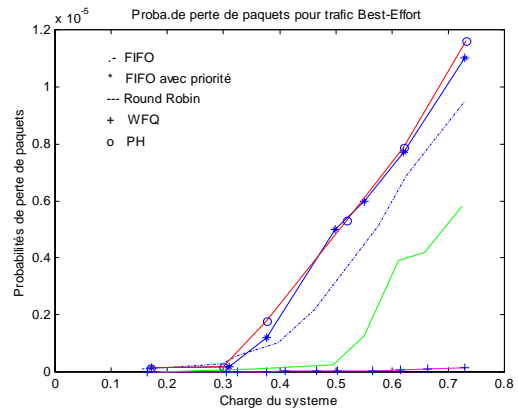


Fig. 7: Proba. de perte de paquets E-mail en fonction de la charge

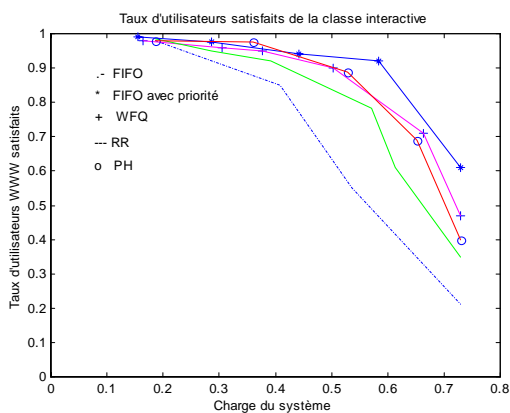


Fig. 8: Taux d'utilisateurs WWW satisfaits en fonction de la charge

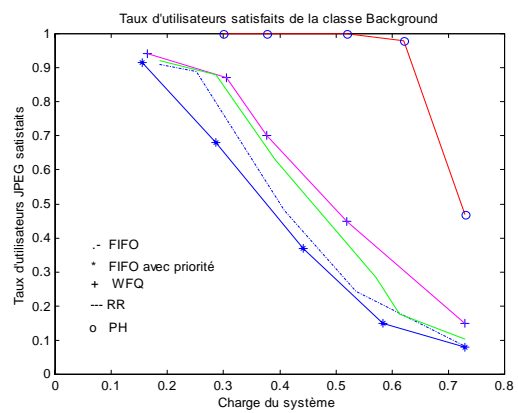


Fig. 9: Taux d'utilisateurs JPEG satisfaits en fonction de la charge

5 Conclusion

Un nouvel algorithme d'allocation de ressources et de partage de canaux pour les systèmes cellulaires multiservices est présenté. Ses performances sont comparées à celles d'autres algorithmes d'allocation étudiés en considérant des classes de trafics de type "interactive", "background" et "best-effort", transmises simultanément sur l'interface air du réseau GPRS.

Leur efficacité pour chaque classe de service est démontrée en évaluant les paramètres de QoS calculés par simulation d'un modèle réel de réseau GPRS. En le comparant avec FIFO, FIFO avec priorité, Round Robin et WFQ, notre politique d'allocation améliore d'une manière significative les performances de la classe de trafic "background", et satisfait en même temps les services de hautes priorités appartenant à la classe de trafic "interactive".

Dans nos perspectives, nous comptons introduire un mécanisme de contrôle d'admission de type CAC et optimiser cette politique en tenant compte à la fois, de paramètres rarement considérés dans les études de l'allocation de ressources, tels que les temps d'attente moyens et instantanés des requêtes dans le tampon, le profil de QoS négocié et la qualité de la communication.

6 Références

- [1] C. Bettstetter, H.J Vogel and J. Eberspracher, "GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: "Architecture, Protocols and Air Interface", IEEE Communications surveys vol.2, no.3. <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, 1999.
- [2] 3GPP, "GPRS Service Description, Stage 1,2", 3G TS 23.060 v.3.3.0, Mar.2000.
- [3] J. D. Parsons, "The mobile Radio Propagation Channel", Second Edition, Wiley Ed, 2001.
- [4] M. Pätzold, Y. Li, F. Laue, "A Study of a Land mobile Satellite Channel Model with Asymmetrical Doppler Power Spectrum and lognormally Distributed Line-of-Sight Component", IEEE Tran. VTC, Vol.47, No.1,p.297-310, February 1998
- [5] M. Pätzold, U. Killat, F. Laue and Yingchun Li, "On the Statistical Properties of Deterministic Simulation Models for Mobile Fading Channels", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.47, No.1,p.254-269, February 1998
- [6] M. Pätzold, F. Laue, "Level-Crossing Rate and Average Duration of Fades of Deterministic Simulation Models for Rice Fading Channels", IEEE Tran. On Vehicular Technology, Vol.48, No.4, July 1998

- [7] A. Demers, S. Keshav, S. Shenker, "Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm", SIGCOMM 89 CCR vol. 19, no.4, Austin, TX, sept 1989, pp 1-12.
- [8] Tabbane S. "Handbook of Mobile Radio Networks", Artech House Ed., 2000.
- [9] C. Lindemann, A. Thümmel, "Evaluating the GPRS Radio Interface for Different Quality of Service Profiles", 12th GI/ITG Fachtagung Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS), Hamburg, Germany, pp. 291-301, feb.2001.
- [10] K.Kennedy and R. Litjens, "Performance Evaluation of a Hybrid Radio Resource Allocation Algorithm in a GSM/GPRS Network", in Proc. of 10th IEEE PIMRC'99, Osaka, Japan, Sept. 1999.
- [11] H.Araújo, J.Costa and L.Correia, "Analysis of a Traffic Model for GSM/GPRS", PIMRC'2001
- [12] ETSI Technical Specification GSM 03.64, Overall description of the GPRS radio interface – stage 2, V8.4.0, pp.20-37, Apr. 2000.
- [13] P.L. and Y.B. Lin, "Channel Allocation for GPRS", IEEE Trans. on VTECH, Vol. 50(2), March 2001. pp.375-387
- [14] S. Ni and S.-G. Häggman, "GPRS performance estimation in GSM circuit switched services and GPRS shared resource systems", IEEE Wireless Communication and Networking Conference. pp.1417-1421, New Orleans USA. Sept. 1999.
- [15] "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); QoS concept and architecture", 3GPP TS 23.107 version 5.6.0 Release 5.
- [16] "QoS in GPRS", ERICSSON, Open Report, Nr-5/0362-FCP NB 102 88 Uen, pp.28, 21-12- 2000 .
- [17] A. Chandra, V. Gummalla and J. O.Limb" Wireless Medium Access Control Protocols", IEEE surveys and Tutorials, vol. 3, no. 2, Second Quarter 2000