

Approximation du régime stationnaire d'un système WFQ

C.BOCKSTAL⁽¹⁾ J.M.GARCIA⁽¹⁾ O. BRUN⁽¹⁾

(1) LAAS-CNRS 31077 Toulouse, France.

Résumé

Cet article décrit une approximation permettant d'évaluer les charges par classes d'une file d'attente multi classes dont le service suit une discipline GPS ou WFQ. Cette approche permet une évaluation rapide des performances d'un réseau IP intégrant la QoS (Quality of Service).

Keywords: Réseaux IP, DiffServ, GPS, WFQ, QoS, Evaluation de performance.

1 Introduction

Durant la dernière décennie, les réseaux de télécommunications ont connu un développement sans précédent qui s'est accompagné d'un accroissement important de leur complexité. L'apparition de nouveaux services intégrant la voix, la vidéo et des données a profondément modifié l'architecture IP. En effet, le déploiement de tels services nécessite un bon fonctionnement en termes de Qualité de Service (QoS) sur le réseau IP. Différents mécanismes allant du traitement différencié des paquets dans les routeurs au routage différencié dans le réseau permettront une meilleure maîtrise de la QoS.

Dans cet article, nous nous focaliserons sur la modélisation des algorithmes d'ordonnancement à partage de bande passante comme GPS (Generalized Processor Sharing) et WFQ (Weighted Fair Queuing). L'objectif de tels modèles est de permettre l'évaluation de performance pour résoudre les problèmes de dimensionnement et d'optimisation de grands réseaux IP à QoS.

Nous présentons dans un premier temps les systèmes étudiés : une file M/M/1 avec un nombre quelconque de classes servies suivant les discipline GPS et WFQ. Pour évaluer de tels systèmes, nous développons des modèles approchés du régime stationnaire.

2 GPS-WFQ

Les applications voix, vidéo et multimédia interactives imposent des contraintes en terme de délai, gigue et perte de paquets. Chaque type d'application a des contraintes différentes. Il est donc nécessaire d'introduire des traitements différenciés au sein du réseau IP. Pour atteindre ces objectifs, le modèle DiffServ (Differentiated Services) agrège les flux par classe de service afin de leur fournir un service différencié [Gue99]. Les principaux algorithmes qui constituent l'architecture DiffServ sont la mise en forme du trafic ou « traffic shaping », le contrôleur d'accès ou « traffic policing », le mécanisme de gestion de buffer ou « buffer management » et l'ordonnanceur.

L'ordonnanceur est le mécanisme qui élit le paquet à transmettre. Il constitue donc un élément essentiel car il permet de contrôler le débit et les délais subits dans le routeur. Dans une architecture DiffServ, les principaux ordonnanceurs utilisés sont la priorité fixe et les algorithmes de partage équitable de bande passante, basé sur le paradigme GPS [Par97].

GPS est un ordonnancement idéal non implémentable où les flux sont vus comme des fluides. L'objet de ce modèle est de garantir une bande passante minimum à chaque classe de trafic et ceci à tout instant. Autrement dit, il garantit un débit minimum $r_i(t)$ à chaque classe. Pour ce faire, les flux sont servis en parallèle avec une portion du débit de l'interface proportionnelle à des poids f_k . Plusieurs algorithmes ont été proposés pour simuler GPS, dont les plus connus sont WFQ et WF²Q (Worst-case Fair Weighted Fair Queuing) [Gue99], [Gol94] et [Ben96].

2.1 Système étudié

On considère un système multi-files d'attente, où différentes classes de trafic se partagent les ressources du système (fig.1.). Pour chaque classe k , $k = 0, 2, \dots, K-1$, les clients de la classe k arrivent dans la file k suivant un processus de poisson à un taux λ_k . Le temps de traitement dans le serveur est exponentiel, de moyenne $1/m$. Les paquets de chaque classe en attente

sont servis suivant l'ordonnement GPS. Ils se partagent donc la bande passante m . Nous noterons X_k l'espérance du nombre de clients dans la file k, $r_k = I_k/m$ le facteur d'utilisation de la classe k et le facteur d'utilisation globale du

système $r = \sum_{k=0}^{K-1} r_k$. Soit f_k le poids GPS normalisé associé à la file k tel que $\sum_{k=0}^{K-1} f_k = 1$ et $0 < f_k < 1$.

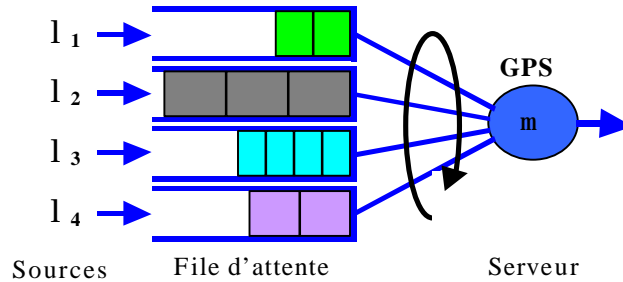


Fig. 1 – *Système de file d'attente : Ordonnement GPS*

L'analyse d'un tel système est complexe car le taux de service de chaque flux dépend de l'état de la file (présence ou non d'un flux). L'évaluation des valeurs stationnaires exactes a été discutée par O.J.Boxma [Ada00]. L'obtention de solutions analytiques pour un nombre quelconques de classe semble peu évident. Nous avons proposé une approche par décomposition en file M/H/1 [Bru02]. Toutefois, cette approche est basée sur des algorithmes itératifs qui peuvent devenir lourds pour de grands réseaux. De plus, elles sont peu aisées pour l'optimisation et le dimensionnement des réseaux. L'approche développée utilise le comportement quasi linéaire des algorithmes de types GPS lorsque la charge du système n'est pas trop grande comme l'illustrent les observations suivantes.

2.2 Observations

Dans l'exemple de la figure 3 à deux classes, les intensités des sources sont $\lambda_0=0.1$ et $\lambda_1=0.2$ et le taux de service vaut $\mu=1$. Nous avons tracé l'espérance du nombre de client de chaque classe en fonction du poids de la première classe pour les algorithmes GPS (X1 GPS & X2 GPS) et WFQ (X1 WFQ & X2 WFQ). Le nombre moyen de client pour GPS a été obtenu en intégrant la chaîne de Markov associée et par simulation événementielle pour WFQ. Pour référence, nous avons aussi tracé l'espérance du nombre de client lorsque la source est seule dans le système (X1 MM1 & X2 MM1) correspondant à l'équation (2) et lorsque la file est strictement prioritaire (X1 PRIO & X2 PRIO) donné par l'équation (11).

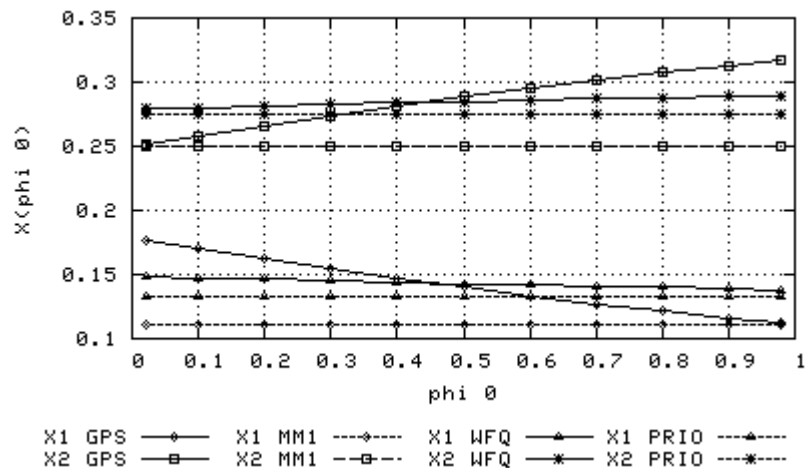


Fig. 2 – *Linéarité GPS & WFQ en fonction des pondérations.*

La première observation faite est la quasi linéarité du nombre de client par rapport à la pondération pour des services GPS ou WFQ. Une étude plus fine nous a montrés que lorsque le facteur d'utilisation global est faible, le nombre de clients de chaque classe varie linéairement en fonction des poids f_k . Nous utilisons cette propriété pour approximer le comportement de GPS et WFQ.

La seconde observation concerne la différence entre l'ordonnancement idéal GPS et son émulation par WFQ. Nous remarquons aussi que lorsqu'une des pondérations tend vers un, les deux systèmes ne tendent pas vers le même comportement. En effet, GPS étant idéal, lorsque le poids d'une classe tend vers un, celle-ci est complètement isolée (similaire à une file M/M/1) alors que pour WFQ, du fait de la granularité des paquets, elle tendra à être similaire à une file prioritaire. Nous utiliserons ces propriétés pour modéliser GPS et WFQ dans ce qui suit.

3 Modèle stationnaire

3.1 GPS à deux classes

Dans cette partie, nous nous intéressons au cas à deux classes GPS ($K=2$). Nous avons dans ce cas $f_0 + f_1 = 1$ (1). Mettre un poids f_i à un pour l'ordonnancement GPS revient à isoler complètement cette classe. Cette file d'attente se comporte alors comme si elle était seule. Nous pouvons alors écrire la relation classique d'une file M/M/1 pour cette classe (équation 2). L'algorithme GPS étant conservateur de travail (jamais oisif) et le temps de service étant le même pour chaque classe, nous pouvons écrire que le système global se comporte comme une file M/M/1 (relation 3)

$$\lim_{f_k \rightarrow 1} X_k = \frac{r_k}{1 - r_k} \quad (2) \quad \text{et} \quad X = \sum_{k=0}^{K-1} X_k = X_0 + X_1 = \frac{r}{1 - r} \quad (3)$$

Nous en déduisons de (1), (2) et (3), en notant \oplus l'opérateur somme modulo K , que :

$$\lim_{f_k \rightarrow 0} X_k = \lim_{f_{k \oplus 1} \rightarrow 1} X_{k \oplus 1} = X - X_{k \oplus 1} = \frac{r}{1 - r} - \frac{r_{k \oplus 1}}{1 - r_{k \oplus 1}} \quad (4)$$

Compte tenu de la linéarité de la charge par rapport au poids GPS, la charge d'une classe est une fonction linéaire dont les paramètres sont déterminés grâce aux relations (2) et (4). Elle s'exprime alors de la façon suivante :

$$X_k \approx A_k f_k + B_k = \left(\frac{r_k}{1 - r_k} + \frac{r_{k \oplus 1}}{1 - r_{k \oplus 1}} - \frac{r}{1 - r} \right) f_k - \frac{r_{k \oplus 1}}{1 - r_{k \oplus 1}} + \frac{r}{1 - r} \quad (5)$$

Les résultats de ce modèle sont comparés aux valeurs exactes obtenues par intégration de la chaîne de Markov du système (fig. 3) pour deux configurations différentes. Pour la partie gauche, les intensités des sources sont $\lambda_0=0.1$ et $\lambda_1=0.2$ et pour la partie droite $\lambda_0=0.5$ et $\lambda_1=0.05$. Le temps de service vaut $\mu=1$ pour les deux courbes. Sur l'axe des abscisses est représenté le nombre moyen de clients par classe en fonction de leurs poids. La partie droite représente un système déséquilibré ($\lambda_0=10*\lambda_1$).

3.2 GPS à K classes

Nous étudions ici un système GPS général à K classes de service. La relation (2) est toujours vérifiée, la file ayant un poids de un étant toujours parfaitement isolée. Le système global se comporte toujours comme une file M/M/1. De la relation (3), nous déduisons alors :

$$X = \sum_{k=0}^{K-1} X_k = \frac{r}{1 - r} \Rightarrow X_k = X - \sum_{i=0}^{K-1} X_i, \quad i \neq k \quad (6)$$

Lorsque le poids d'une classe tend vers un, les autres classes se partagent la bande passante restante. Nous voyons qu'avec (2) et (6), nous avons :

$$\lim_{f_k \rightarrow 1} \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{K-1} X_i = X - X_k = \frac{r}{1 - r} - \frac{r_k}{1 - r_k} \quad (7)$$

L'idée est de dire que ces classes vont alors se répartir la charge restante proportionnellement au débit moyen de leurs trafics. En effet, plus l'intensité des trafics d'une classe sera importante, plus le nombre de client de cette classe en attente de service sera important. Cette heuristique donne de bons résultats, comparée aux autres heuristiques testées. De plus, elle permet de toujours vérifier la relation (3), c.a.d que la charge du routeur de manière globale est toujours bien estimée. A partir de (7), nous écrivons alors:

$$\lim_{f_k \rightarrow 1} X_i = \left(\frac{r}{1-r} - \frac{r_k}{1-r_k} \right) g_{i,k}, \quad \forall i \neq k \quad (8) \text{ OÙ la pondération vaut : } g_{i,k} = \frac{r_i}{\sum_{j=0, j \neq k}^{K-1} r_j}$$

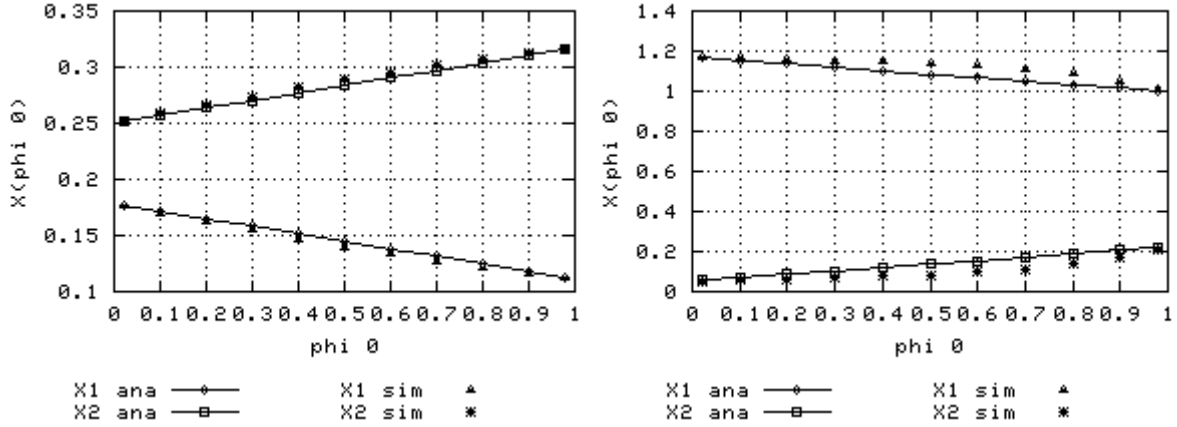


Fig. 3 – Approximation linéaire de GPS à 2 classes.

Compte tenu du caractère linéaire, l'équation donnant la charge d'une classe est de la forme :

$$X_k \approx f_k A_k + \sum_{i=1}^{K-2} f_{k \oplus i} B_{k,i} + Z_k \quad (9)$$

Par identification avec (2), (8) et (9), nous obtenons :

$$X_k \approx f_k \left(\frac{r_k}{1-r_k} - Z_k \right) + \sum_{j=1}^{K-2} f_{k \oplus j} \left[\left(\frac{r}{1-r} - \frac{r_{k \oplus j}}{1-r_{k \oplus j}} \right) g_{k,k \oplus j} - Z_k \right] + Z_k \text{ où } Z_k = \left(\frac{r}{1-r} - \frac{r_{k \oplus (K-1)}}{1-r_{k \oplus (K-1)}} \right) g_{k,k \oplus (K-1)} \quad (10)$$

3.3 WFQ : prise en compte de la granularité

Le paradigme GPS est un ordonnancement idéal. Il permet d'obtenir une isolation parfaite des classes. Les algorithmes tels que WFQ ou WF²Q opèrent un peu différemment du fait de la granularité des flux. Il en résulte qu'une classe dont le poids tendrait vers un ne peut être considérée comme seule, comme cela a été fait dans les paragraphes précédents (relation (2)). Au mieux, une classe dont toute la bande passante lui serait réservée aura les mêmes performances qu'une file prioritaire non préemptive.

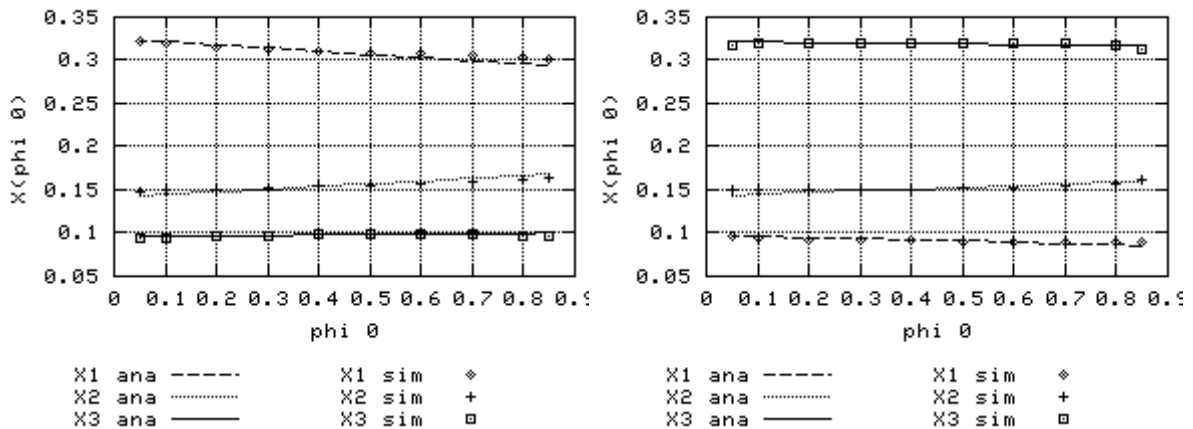


Fig. 4 – Comparaison du modèle analytique et de la simulation événementielle d'une file WFQ à 3 classes

Nous pouvons prendre en compte ce fait en remplaçant l'équation (2) décrivant une file M/M/1 isolée par celle d'une file prioritaire. En utilisant la formule de la file la plus prioritaire [Kle76], nous obtenons :

$$\lim_{f_k \rightarrow 1} X_k = r_k + \frac{r_k m_k \sum_{j=0}^{K-1} r_j / m_j}{1 - r_k} = N_k^* \quad (11)$$

En injectant cette relation dans l'équation (10), nous trouvons :

$$X_k \approx f_k (N_k^* - Z_k) + \sum_{j=1}^{K-2} f_{k \oplus j} \left[\left(\frac{r}{1-r} - N_{k \oplus j}^* \right) g_{k, k \oplus j} - Z_k \right] + Z_k \quad \text{Avec } Z_k = \left(\frac{r}{1-r} - N_{k \oplus (K-1)}^* \right) g_{k, k \oplus (K-1)} \quad (12)$$

Nous comparons le modèle analytique avec la simulation événementielle d'une file WFQ à trois classes (fig.5.). Les intensités des sources sont $\lambda_0=1$ $\lambda_1=0.5$ et $\lambda_2=0.3$ pour la partie droite et $\lambda_0=0.3$ $\lambda_1=0.5$ et $\lambda_2=1$ pour la partie gauche. Dans les deux cas, le taux de service est $\mu=5$, le poids de la classe 2 est fixé à $\phi_2=0.1$ et nous faisons varier ϕ_0 entre $[0.05..0.85]$ et $\phi_1=0.9-\phi_0$. Le premier test illustre le cas où nous faisons varier le poids de la file la plus chargée. Le deuxième test montre le cas où la classe la plus chargée à un poids faible.

4 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté au cours de cet article une approximation linéaire permettant d'évaluer le nombre de clients moyen pour un nombre de classes quelconque pour les disciplines GPS et WFQ. Ces résultats sont utilisés pour faire de l'évaluation de performance rapide pour de grands réseaux ainsi que pour l'optimisation du routage notamment avec MPLS qui permet un routage par classes.

Les modèles présentés ici ont déjà été étendus à des distributions de service général. De plus, des files à priorité fixe ont été rajoutées aux modèles. Des travaux sont actuellement menés pour obtenir des modèles avec pertes (files à capacité finie).

Références

- [Par97] A. K. Parekh. A Generalized Processor Sharing approach to flow control in intergrated services networks. PhD thesis, Laboratory for Information and Decision System, MIT, Cambridge, février 1997.
- [Gue99] R. Guérim, V. Peris. Quality-of-Service in Packet Networks Basic Mechanisms and Directions. Computer Network, No.31, pp.169-189, 1999.
- [Gol94] R. J. Golestani. A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications. In Porceeding of INFOCOM, pp 636-646, Toronto, Canada, juin 1994.
- [Bru02] O.Brun, J.M.Garcia, C.Bockstal. Hyperexponential approximation for GPS systems with an arbitrary number of traffic classes. Rapport LAAS N°02003, Janvier 2002.
- [Ben96] J. C. R. Bennett, H. Zhang. WF²Q : Worst-case Fair Weighed Fair Queueing. In Procecdings of INFOCOM, pp 120-128, San francisco, mars 1996.
- [Ada00] I.J.B.F. Adan, O.J. Boxma, J.A.C. Resing. Queueing models with multiple waiting lines. SPOR-reports, mars 2000.
- [Aba87] J. Abate, W. Whitt. Transient behaviour of the M/M/1 queue: Starting at the origin. *Queueing Systems*, **2**, 1987.
- [Coh69] J. W. Cohen. The Single Server Queue. NORTH HOLLAND, 1969.
- [Gar80] J.M. Garcia., Problèmes liés à la modélisation du trafic et à l'acheminement des appels dans un réseau téléphonique. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier (Toulouse), 1980.
- [Gar98] J.M. Garcia, "A new approach for analytical modelling of packet switched telecommunication networks. LAAS Research Report N° 98443, 1998.
- [Kle76] L. Kleinrock. *Queueing Systems. Volume I et volume II*, Editions John Wiley & Sons, 1976.
- [Tak62] L. Takacs. *Introduction to the Theory of Queues*. OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1962.