ÉTUDE D'UN COMMUTATEUR HYBRIDE OPTOÉLECTRONIQUE GÉRANT DIFFÉRENTES CLASSES DE SERVICE

Wiem Samoud[1], **Mounia Lourdiane**[2] **et Cédric Ware** [1]

[1] *Télécom ParisTech, Institut Mines-Télécom, CNRS LTCI, Paris, France*
[2] *Télécom SudParis, Institut Mines-Télécom, CNRS SAMOVAR, Evry, France*

wiem.samoud@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

Nous étudions les performances d'un commutateur hybride de paquets, associant une mémoire électronique à un commutateur tout-optique qui prend en charge différentes classes de priorité. Nos simulations montrent que, comparé à un commutateur tout-optique, le commutateur hybride améliore significativement le taux de pertes de paquets (PLR) et la charge maximale du système, avec relativement peu de ports vers la mémoire électronique, ce qui entraînerait une consommation énergétique moindre que celle d'un commutateur électronique.

MOTS-CLEFS : *réseaux de communication optique; commutation de paquets optiques; gestion de contention; composants optoélectroniques.*

1. INTRODUCTION

De nos jours, les transmissions filaires sont majoritairement réalisées sur fibre optique du fait de sa faible atténuation, sa large bande passante et son coût relativement faible. Cependant, l'optique est rarement utilisée pour des fonctionnalités supérieures telles que la commutation de paquets, qui reste effectuée électroniquement. Cela nécessite de nombreuses conversions optique-électrique-optique (OEO) coûteuses en énergie, entraînant une consommation en croissance incontrôlée vu l'accroissement des flux de données circulant dans les réseaux.

La commutation tout-optique évite les conversions OEO, mais l'absence de mémoires tout-optiques capables de stocker les paquets la rend extrêmement vulnérable à la contention, conduisant à des PLR importants, même à des charges très faibles.

Afin d'y pallier, il a été proposé et démontré un commutateur hybride [1, 2] répartissant plus intelligemment les tâches entre optique et électronique : les paquets sont acheminés optiquement autant que possible, ou stockés dans une mémoire électronique en cas de contention, limitant ainsi les conversions OEO aux cas où un paquet aurait été perdu. L'étude d'un tel commutateur hybride [3, 4], via des simulations et un modèle analytique de type Engset, a montré des améliorations du PLR et de la charge maximale par rapport à un commutateur tout-optique.

Dans le présent article, nous étudions par simulation les performances du commutateur hybride gérant un trafic avec différentes classes de service. Nous décrirons d'abord l'architecture de commutateur hybride, nos hypothèses de simulation, et discuterons les résultats obtenus.

2. SIMULATIONS

L'architecture du commutateur hybride est présentée dans la figure 1. Il consiste en un commutateur optique supplémenté par une mémoire électronique partagée. La mémoire dispose de n_e ports d'entrée, ainsi que n_e ports de sortie. Le degré du commutateur hybride est n_a : il est connecté à n_a azimuts. Chaque azimut est supposé bidirectionnel et comportant n_c canaux indépendants et interchangeables dans chaque direction. Autrement dit, nous supposons qu'un azimut peut recevoir au maximum n_c paquets simultanément, et qu'un paquet entrant peut utiliser n'importe quel canal de sortie de son azimut. Cette hypothèse est valide pour des canaux réalisés, par exemple, par les cœurs d'une fibre multicœurs, ou des fibres parallèles dans un même câble ; la présente étude ne vise pas le multiplexage en

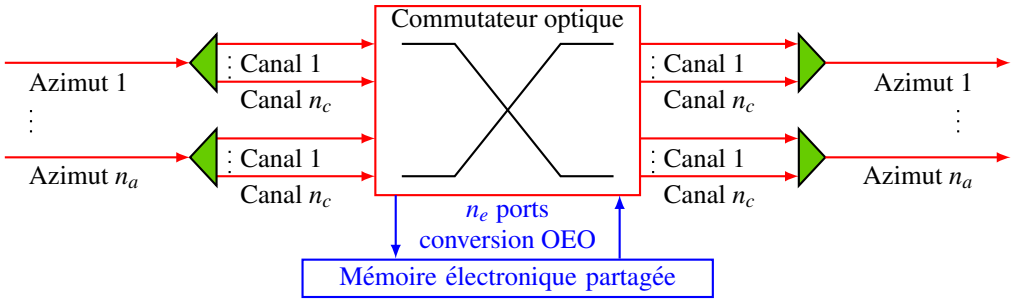

FIGURE 1 : Architecture générale du commutateur hybride consideré.

longueurs d'ondes, sauf à faire un usage systématique de convertisseurs de longueurs d'ondes, obérant le gain en conversions OEO.

Nous considérons trois classes de priorité en termes de PLR : les paquets de haute (H), moyenne (M) et faible (L) priorité représentent respectivement 10, 40 et 50% du trafic global. En pratique, les paquets H peuvent être des paquets de données, qui doivent arriver à leurs destinations sans perte. La priorité M représenterait des paquets de voix et de vidéo interactive, tolérant la perte mais sensibles à la latence. La priorité L, pour d'autres types de paquets, est la moins sensible au PLR.

Le commutateur hybride fonctionne en mode asynchrone : les paquets peuvent arriver à tout instant. Quand un paquet arrive, on lit son azimut de destination et sa priorité. Si un canal optique est disponible vers sa destination, le paquet y est envoyé directement. Autrement, si un port d'entrée électronique est disponible, le paquet est mémorisé jusqu'à ce qu'un canal soit libéré. De plus, si le paquet ne trouve pas de port libre vers la mémoire et qu'il est de priorité H ou M, il préempte et prend la place du dernier paquet moins prioritaire en cours de transmission vers la mémoire ou le même azimut de destination. Au pire, un paquet sans aucun canal ni port électronique disponible ni possibilité de préemption sera perdu.

La charge du système ρ peut être exprimée en fonction de la longueur des paquets σ et la durée moyenne d'inactivité par source τ : $\rho = \frac{\sigma}{\tau+\sigma}$ Nous avons considéré une durée de paquet fixe de $\sigma = 10$ µs, ce qui représente environ 100 kbit pour un débit standard de 10 Gbit/s. Dans nos simulations, nous faisons varier la charge du système (ρ) et calculons le PLR de chaque classe de priorité. Pour une valeur donnée de ρ la simulation prend fin lorsque suffisamment de paquets (4×10^8) ont circulé, ou si plusieurs (50) paquets H sont perdus.

3. RÉSULTATS

Nous présentons (figure 2) l'évolution de PLR_L et PLR_M en fonction de la charge du système pour 10 azimuts, 10 canaux par azimut et différentes valeurs de n_e. Nous observons qu'avec quelques ports électroniques seulement ($n_e = 3$ ou 5), les PLR diminuent considérablement par rapport à ceux d'un commutateur tout-optique. Plus la mémoire a de ports, plus les PLR diminuent. La réduction de PLR_L et PLR_M est de 10^{-4} avec seulement 10 ports électroniques et à une charge du système raisonnable ($\rho = 0.5$). Notons que dans nos simulations, aucun paquet H n'a été perdu.

Puisqu'il y a plusieurs variables de dimensionnement du commutateur hybride, afin d'en déterminer les configurations intéressantes, la figure 3 présente, en fonction de n_e, la charge maximale du système à PLR donné, soit le ρ maximal pour lequel le PLR est inférieur ou égal à une certaine valeur ; ici, $PLR_L \leqslant 10^{-7}$ et $PLR_M \leqslant 10^{-8}$ pour un commutateur de degré 10. Comme l'on s'y attend, la charge maximale croît avec l'augmentation de n_e et atteint 1 pour $n_e = n_a \times n_c$. Dans ce dernier cas, il y a autant de ports électroniques que de sources de paquets ; un paquet arrivant peut donc toujours être mémorisé, même s'il ne peut être directement envoyé. Les simulations montrent qu'à une charge maximale de 0.6, considérée comme un point de fonctionnement acceptable, PLR_L et PLR_M sont respectivement $\leqslant 10^{-7}$ et 10^{-8} pour seulement 20 et 15 ports électroniques, indépendamment de n_c. Ces résultats prouvent que

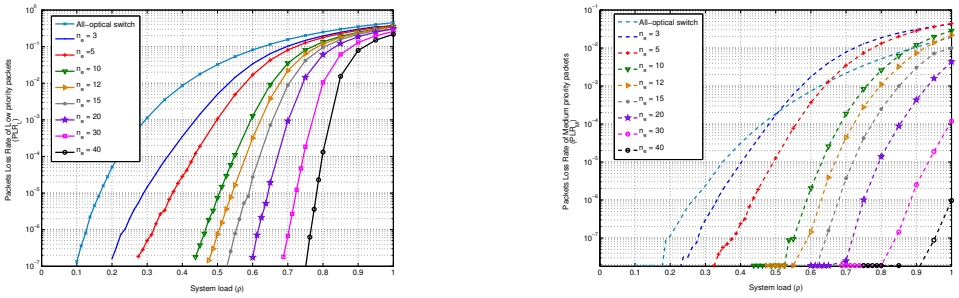

FIGURE 2 : PLR en fonction de ρ : PLR_L à gauche, PLR_M à droite ($n_a = 10, n_c = 10$).

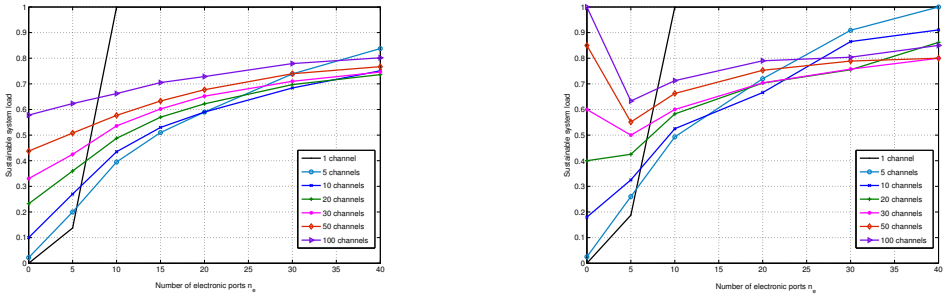

FIGURE 3 : Charge maximale du système vs n_e ; gauche : à $PLR_L = 10^{-7}$, droite : à $PLR_M = 10^{-8}$ ($n_a = 10$)

le commutateur hybride, gérant différentes classes de service, améliore les performances même pour relativement peu de ports électroniques.

CONCLUSION

Vu la consommation énergétique résultant de nombreuses conversions OEO dans les commutateurs électroniques, et la mauvaise gestion de contention des commutateurs tout-optique, nous avons étudié un commutateur hybride qui supplémente la commutation optique par une mémoire électronique.

Nos simulations montrent que le commutateur hybride est plus efficace qu'un commutateur tout-optique car il améliore considérablement les PLR de toutes les classes de trafic ainsi que la charge maximale du système. En outre, le commutateur hybride nécessite beaucoup moins de conversions OEO qu'un commutateur électronique, pouvant ainsi consommer moins d'énergie.

Les prochaines étapes de notre étude consistent à l'étendre d'une part à la latence, trouver un compromis avec le PLR ; et d'autre part aux systèmes multiplexés en longueur d'onde, qui réalisent les canaux les plus intéressants. Un modèle analytique tenant compte de ces résultats permettrait également un dimensionnement plus aisé de ce type de commutateur.

RÉFÉRENCES

[1] R. Takahashi, T. Nakahara, K. Takahata, H. Takenouchi, T. Yasui, N. Kondo, and H. Suzuki, "Ultrafast optoelectronic packet processing for asynchronous, optical-packet-switched networks," *Journal of Optical Networking*, vol. 3, no. 12, pp. 914–930, 2004, invited paper.

[2] D. Chiaroni, R. Urata, J. Gripp, J. E. Simsarian, G. Austin, S. Etienne, T. Segawa, Y. Pointurier, C. Simonneau, Y. Suzaki *et al.*, "Demonstration of the interconnection of two optical packet rings with a hybrid optoelectronic packet router," in *Eur. Conf. on Opt. Comm. (ECOC)*, no. PD3.5, Sep. 2010, postdeadline paper.

[3] P. Delesques, T. Bonald, G. Froc, P. Ciblat, and C. Ware, "Enhancement of an Optical Burst Switch with Shared Electronic Buffers," in *International Conference on Optical Networking Design and Modeling (ONDM)*, Brest, France, Apr. 2013, pp. 136–141, poster.

[4] W. Samoud, C. Ware, and M. Lourdiane, "Investigation of a hybrid optical-electronic switch supporting different service classes," in *Photonics North (PN)*, Montreal, Canada, May 2014.