

ANALYSE DE PERFORMANCES D'UN COMMUTATEUR DE BURSTS OPTIQUES À MÉMOIRE ÉLECTRONIQUE PARTAGÉE

Pierre Delesques^{1,2}, Thomas Bonald², Gwillerm Froc¹, Philippe Ciblat², Cédric Ware²

¹ *Mitsubishi Electric R&D Centre Europe, Rennes, France*

² *Institut Mines-Télécom/Télécom ParisTech, Paris, France*

cedric.ware@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

Les réseaux futurs sont face à un défi de consommation énergétique : le trafic croît exponentiellement mais l'énergie par bit ne diminue pas assez vite, notamment dans les routeurs et commutateurs qui restent tout-électroniques. La commutation optique, ne disposant pas de mémoires, est vulnérable à la contention. Nous étudions les performances d'un commutateur hybride utilisant un buffer électronique partagé. Des simulations numériques et un modèle analytique de type Engset montrent un gain notable de performances pour relativement peu de ports électroniques vers le buffer. Les gains les plus élevés apparaissent lorsque peu de canaux par destination sont disponibles.

MOTS-CLEFS : *réseaux optiques ; commutation de bursts optiques ; commutateur hybride*

1. INTRODUCTION

Un des plus grands défis pour les futurs réseaux de communication est leur consommation énergétique en croissance incontrôlée, notamment celle des routeurs et commutateurs : le trafic qu'ils véhiculent augmente exponentiellement, mais l'énergie consommée par bit ne diminue pas assez vite [1].

Bien que des solutions de commutation tout-optique de paquets ou de bursts (OPS, OBS) aient été proposées [2], leur efficacité pratique sur la consommation est discutable [3]. Ces solutions sont vulnérables à la contention même à faible charge, car les paquets ne peuvent en pratique être gardés en attente ; les « mémoires » optiques à base de retards (boucles ou lumière lente) sont très limitées. Les réseaux tout-optiques devraient donc être largement sur-provisionnés, multipliant les canaux possibles vers chaque destination. Hélas, l'utilisation de canaux multiplexés en longueur d'onde (WDM) nécessiterait nombre de convertisseurs de longueur d'onde, gourmands en énergie, rendant inutile le tout-optique [3].

Le point critique étant la mise en mémoire, il a été récemment démontré [4] un commutateur *hybride*, utilisant de l'OBS ou de l'OPS en conjonction avec un buffer électronique. Cette approche semble réunir le meilleur des deux mondes, quoique nécessitant des convertisseurs optique-électrique (O-E) aux ports d'entrée/sortie du buffer, mais moins que dans un commutateur tout-électronique.

Dans cette communication, nous étudierons l'amélioration des performances de l'OBS qu'apporte l'utilisation d'un tel buffer électronique, en termes de probabilité de perte. L'OPS est équivalente à l'OBS dans notre analyse. Pour une architecture de commutateur donnée (sec. 2.), nous quantifierons sa probabilité de perte en fonction de la charge, et le gain de charge pour une probabilité de perte fixée. La comparaison des résultats d'un modèle de type Engset et de simulations numériques (sec. 3.) montre que le gain peut être encore amélioré par une meilleure gestion des collisions entre bursts entrants et réémis.

2. ARCHITECTURE DU COMMUTATEUR ET MODÈLE SYSTÈME

La figure 1 présente l'architecture globale du commutateur, supposé asynchrone : les bursts peuvent arriver à tout instant. Le nœud de commutation est de degré n_a : relié à n_a autres nœuds par autant d'azimuts supposés bidirectionnels et comportant chacun n_c canaux indépendants dans chaque direction. Ces canaux peuvent être différents cœurs d'une même fibre ou différentes fibres d'un même câble ; ou bien des canaux WDM d'une même fibre, au prix d'une consommation plus élevée via des convertisseurs de longueur d'onde.

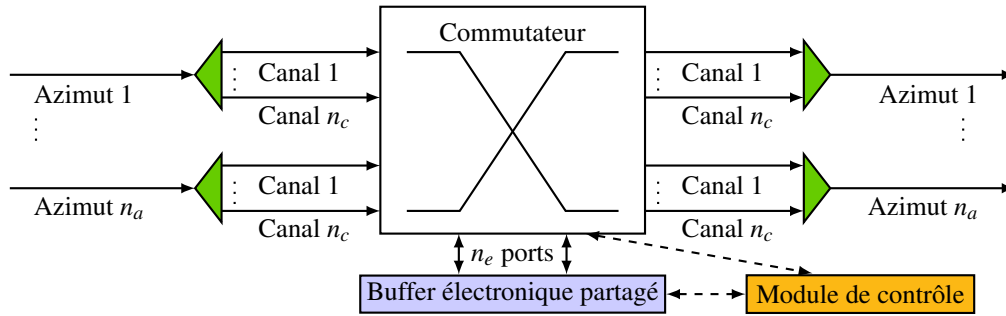


FIGURE 1 : Architecture du commutateur hybride

Le commutateur OBS est couplé à un buffer électronique partagé, où sont mis en attente les bursts pour lesquels aucun canal n'est disponible vers leur destination. Le buffer a n_e ports d'entrée et autant de ports de sortie. S'il n'y a pas non plus de port d'entrée disponible, alors seulement le burst est perdu.

Nous supposons dans un premier temps que les bursts en attente ont priorité : ils sont réémis dès qu'un canal se libère vers leur destination. Cette règle minimise la latence et la consommation mémoire ; toutefois, elle implique plus d'utilisation des ports électroniques, entraînant la perte de bursts qui auraient pu être acheminés si la réémission d'un autre burst de même destination avait été retardée.

Dans notre analyse, chaque canal entrant dans le nœud est à chaque instant occupé (lorsqu'un burst est en cours de transmission) ou libre (entre deux bursts). On suppose ces temps libres indépendants, suivant une distribution exponentielle de moyenne τ . La durée des bursts est distribuée exponentiellement de moyenne $\sigma = 10 \mu\text{s}$, soit 100 kbit à 10 Gbit/s ; τ est lié à la charge : $\rho = \frac{\sigma}{\sigma + \tau}$. Nous avons calculé la probabilité de perte par une approche de type point fixe, en considérant la partie optique du commutateur et le buffer comme des systèmes d'Engset, et en égalisant le trafic entrant et sortant du buffer. Le calcul de la probabilité de perte globale P_{loss} est donné dans [5].

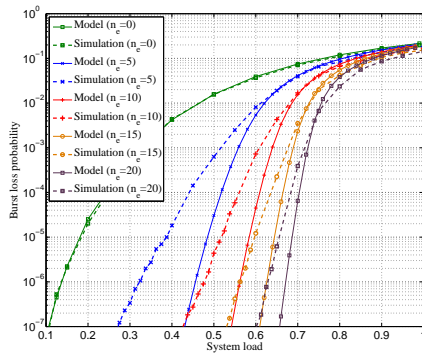
3. RÉSULTATS NUMÉRIQUES

Les figures 2(a) et 2(b) donnent les résultats d'une simulation numérique de la probabilité de perte, comparée à la valeur donnée par le calcul, pour deux valeurs de n_a et plusieurs valeurs de n_e allant de 0 à 20. On constate un parfait accord entre simulation et calcul dans le cas tout-optique, et un accord qualitatif dans le cas hybride. Ces résultats montrent une amélioration significative des performances du commutateur à mesure que croît n_e , notamment en termes de charge maximale à faible P_{loss} .

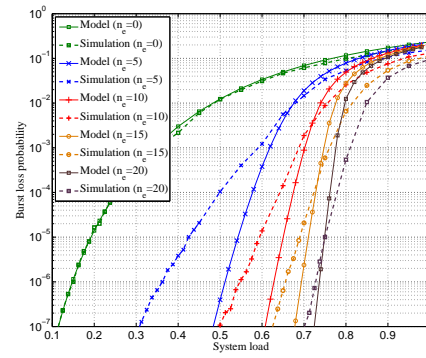
La figure 2(c) trace cette charge maximale à $P_{\text{loss}} = 10^{-7}$, déterminée par simulation, en fonction de n_e pour différents nombres de canaux par azimut : $n_c = 1, 5, 10, 20, 50, 100$. Comme on peut s'y attendre, le gain est le plus sensible pour de faibles valeurs de n_c , et le commutateur devient non-bloquant pour $n_e = n_a n_c$, cas où il y a toujours assez de ports disponibles pour mettre en attente un burst entrant. Pour toutes les valeurs de n_c testées, $n_e = 20$ suffit pour assurer la possibilité d'une charge de 0,6.

L'écart entre simulation et modèle s'explique d'une part du fait que le trafic secondaire ne peut être considéré indépendant du primaire : les bursts réémis sont a priori à destination d'un azimut congestionné, puisqu'ils avaient dû être mis en attente. D'autre part, dans nos simulations, il se produit des « collisions secondaires » : un burst à destination d'un azimut congestionné par du trafic réémis peut être perdu, alors qu'on aurait pu l'acheminer en gardant ce trafic secondaire en attente.

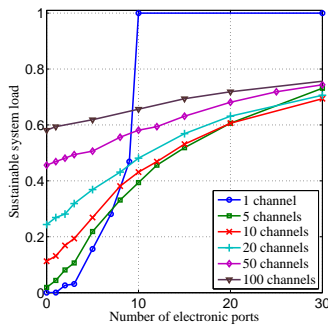
Les figures 2(d) et 2(e) montrent le taux de bursts mis en attente du fait de réémission en cours, élevé même à faible charge ; et la probabilité de perte lorsqu'on retarde de 250 ou 500 ns l'entrée des bursts dans le commutateur (par exemple via des lignes à retard) afin de pouvoir vérifier avant de réémettre qu'on ne va pas provoquer de collision secondaire. On constate un gain modéré, et les performances simulées s'approchent du modèle à faible charge ; il est possible que le modèle indique la marge de progression possible en optimisant la politique de réémission.



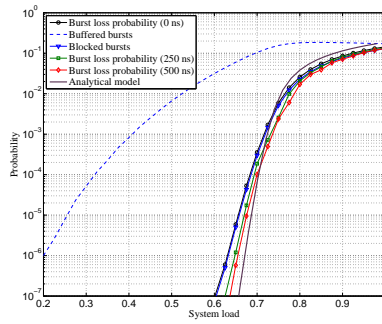
(a) P_{loss} en fonction de la charge, modèle et simulations, cas $n_a = 10, n_c = 10$



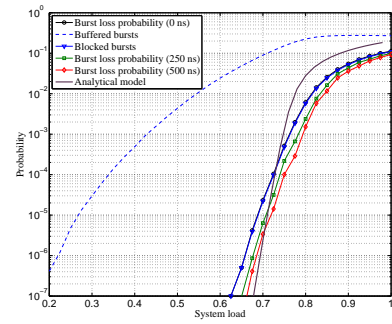
(b) P_{loss} en fonction de la charge, modèle et simulations, cas $n_a = 5, n_c = 10$



(c) Simulation : charge maximale à $P_{\text{loss}} = 10^{-7}$, cas $n_a = 10$



(d) P_{loss} avec réémission retardée, cas $n_a = 10, n_c = 10, n_e = 20$



(e) P_{loss} avec réémission retardée, cas $n_a = 5, n_c = 10, n_e = 15$

FIGURE 2 : Résultats numériques.

CONCLUSION

Nous avons étudié les performances d'un commutateur hybride de bursts optiques avec un buffer électronique partagé. La charge maximale en est notablement plus élevée que pour un commutateur tout-optique. Nous constatons également que même à faible charge, une fraction importante du trafic est mise en attente, d'où des conversions O-E inutiles et des collisions secondaires ; retarder la réémission permet des gains modérés de charge maximale.

Ce commutateur hybride est une technique prometteuse pour réduire la consommation énergétique des réseaux de paquets optiques. Des travaux supplémentaires sont requis pour une analyse exacte de l'économie d'énergie possible par ce biais.

RÉFÉRENCES

- [1] R. S. Tucker, "Green optical communications—part II : Energy limitations in networks," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 17, pp. 261–274, 2011.
- [2] S. J. Ben Yoo, "Energy efficiency in the future internet : the role of optical packet switching and optical-label switching," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 17, no. 2, pp. 406–418, 2011.
- [3] R. S. Tucker, "Optical packet switching : A reality check," *Optical Switching and Networking*, vol. 5, pp. 2–9, 2008.
- [4] D. Chiaroni, R. Urata, J. Gripp *et al.*, "Demonstration of the interconnection of two optical packet rings with a hybrid optoelectronic packet router," in *European Conference on Optical Communications (ECOC)*, no. PD3.5, 2010.
- [5] 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.