

# Un mécanisme temps-réel à accès TDMA pour les réseaux SpaceWire

Thomas Ferrandiz

## I. INTRODUCTION

SpaceWire [1], [2] est un réseau de communication conçu pour relier les différents équipements embarqués dans un satellite. Il fournit des liens série point à point bi-directionnel et full-duplex à haut débit (de 2Mbps à 200 Mbps). SpaceWire définit également des routeurs permettant d'établir des topologies complexes interconnectant les différents noeuds.

Les réseaux bords satellites sont utilisés pour transférer deux types de trafic : le trafic scientifique, comme les photographies haute-résolution prises par les capteurs du satellite, formé de paquets de grande taille pour lesquels le réseau doit assurer un débit élevé et le trafic de contrôle, de faible volume mais avec des contraintes temporelles fortes. Jusqu'à présent, ces deux types de trafic étaient transférés sur deux réseaux différents.

Il est cependant souhaitable de parvenir à transférer les deux types de trafic sur un même réseau. De plus, les deux types de trafic doivent circuler sur les mêmes liens physiques afin de réduire l'encombrement et le coût du réseau. Actuellement, SpaceWire offre des débits suffisant pour transmettre ces deux types de trafic simultanément mais le mode de routage Wormhole utilisé ne permet pas d'apporter des garanties suffisantes sur les délais de transmission.

Une idée intéressante serait de multiplexer temporellement les deux types de trafic pour permettre aux flux de contrôle de dépasser le flux scientifique sans attendre la fin d'une transmission. On peut adopter deux approches pour cela. D'une part, on peut effectuer le multiplexage au niveau applicatif sur les noeuds terminaux. Le multiplexage est ainsi transparent pour le reste du réseau et chaque paire de noeuds (émetteur, récepteur) gère son propre trafic. Un avantage notable de cette solution est qu'elle ne nécessite pas de modifications du matériel existant.

D'autre part, le multiplexage peut être effectué sur certains liens critiques qui souffriraient de problèmes de congestion. Les deux routeurs aux extrémités des liens se chargeraient alors de découper les flux à l'entrée du lien et de les reconstituer à la sortie. Cette méthode nécessite des modifications au niveau du matériel mais est par contre transparente pour le reste du réseau. C'est cette approche que nous avons choisi d'utiliser

Nous présentons donc ici un mécanisme de type TDMA (Time Division Multiple Access) permettant de partager un lien entre un flux scientifique et un flux de contrôle tout en satisfaisant les contraintes des deux types de trafic.

## II. LE RÉSEAU SPACEWIRE

Le standard SpaceWire est dérivé du standard IEEE 1355. Un réseau SpaceWire est formé de noeuds et de routeurs

connectés par des liens point-à-point. Les noeuds échangent des informations sous formes de paquets dont la taille n'est pas limitée par la norme. Sur chaque lien SpaceWire, les transmissions ont lieu en mode caractère. Ces caractères sont de deux type : données et contrôle. Les caractères de contrôle sont notamment utilisés comme marqueurs de fin de paquet et pour le contrôle de flux.

Le standard SpaceWire définit aussi des caractères spéciaux appelés Time-Codes qui permettent de synchroniser les horloges de tous les éléments du réseau sur celle d'un élément maître.

Le contrôle de flux n'est pas effectué au niveau réseau mais sur chaque lien : l'émetteur ne peut envoyer de nouveaux caractères que si le receveur l'y a autorisé. Le receveur est ainsi certain de ne jamais recevoir de données qu'il ne sera pas en mesure de traiter.

Les routeurs SpaceWire utilisent la technique du Wormhole Routing pour transmettre les paquets. L'en-tête du paquet établit un circuit à travers le réseau en réservant chaque lien utilisé jusqu'à la fin du transfert du paquet. Si le port de sortie d'un routeur est déjà utilisé pour transmettre un autre paquet, l'en-tête est bloqué jusqu'à la libération du port. Si plusieurs paquets attendent la libération d'un même port, un mécanisme d'arbitrage doit être utilisé. Il est possible pour cela d'attribuer des niveaux de priorités différents aux adresses des noeuds.

Le Wormhole Routing permet ainsi d'avoir des latences faibles lorsque tous les ports sur le chemin suivi par un paquet sont libres. En revanche, lorsque le paquet est bloqué les délais peuvent devenir très importants, surtout si des paquets de grande taille circulent sur le réseau. Il n'est alors pas possible de garantir des délais de transmission bornés pour les paquets urgents.

## III. UN MÉCANISME TEMPS-RÉEL POUR SPACEWIRE

Pour remédier à ce problème, nous proposons un mécanisme permettant de partager un lien SpaceWire entre deux flux de données tout en fournissant des garanties sur les délais de transmission du flux prioritaire. Ce mécanisme est basé sur un multiplexage temporel du lien au niveau Echange. Il divise les flux à transférer en slots de taille fixe mais attribués dynamiquement. Les paquets prioritaires courts peuvent ainsi doubler des paquets longs sans contraintes temporelles. A la fin d'un slot, le démultiplexeur enregistre l'état du routage pour le canal actif et le restaure quand ce canal est de nouveau actif.

### *Description du mécanisme*

Le routeur en entrée joue le rôle de multiplexeur (MUX) tandis que le routeur en sortie joue celui de démultiplexeur

(DEMUX). Le multiplexeur attribue à chacun de ses ports d'entrée un numéro de canal qui permettra au démultiplexeur de l'identifier et de le diriger vers le port de sortie adéquat.

Le multiplexeur divise les flux de données en slots. Ceux-ci sont séparés par un en-tête formé d'un Time-Code (il en existe deux non attribués dans la norme) dont le caractère de données contient le numéro du canal actif pour le slot suivant.

A chaque début de slot, le multiplexeur examine chacun des ports d'entrée pour savoir quel canal a des données à transmettre. Le nouveau canal actif est déterminé par le multiplexeur selon une politique de service *Static Priority*. Dans notre cas, lorsque le flux de contrôle a des données à transmettre, il est toujours prioritaire sur le flux scientifique.

Le démultiplexeur dispose d'une table associant les canaux ayant un transfert en cours et leur port de sortie. Lors de la réception d'un en-tête de slot, le démultiplexeur vérifie si le nouveau canal actif est dans sa table. Si c'est le cas, les données du canal sont routées vers le port de sortie jusqu'à la fin du slot ou la réception d'un marqueur EOP. Si ce n'est pas le cas, le premier octet reçu doit être l'adresse de destination d'un nouveau paquet. Le port de sortie est alors choisi en fonction de la table de routage standard du démultiplexeur et le paquet est transféré vers ce port au fur et à mesure de son arrivée. A la fin du slot, si le paquet n'a pas été intégralement transmis, le démultiplexeur sauvegarde dans sa table le couple (numéro de canal, port de sortie).

Ce mécanisme permet ainsi de multiplexer deux flux sur un même lien de façon transparente pour les noeuds source et destination qui utilisent des interfaces SpaceWire standards.

#### IV. EVALUATION DU MÉCANISME

Pour évaluer l'efficacité de notre mécanisme, nous avons écrit un simulateur permettant de comparer les débits moyens et les délais de bout en bout pour un cas d'étude particulier, pour le Wormhole Routing standard (WH) et le mécanisme TDMA. Ce simulateur est basé sur un modèle tour par tour. A chaque tour, chaque interface peut émettre un bit et chaque système peut récupérer ou injecter un caractère sur chacune de ses interfaces si possible.

Le réseau étudié est composé de quatre noeuds et deux routeurs. Le noeud 1 émet un flux de trafic scientifique au débit le plus élevé possible à destination du noeud 3 et le noeud 2 envoie des paquets de contrôle au noeud 4 à intervalle régulier. Ces deux flux sont multiplexés sur le lien reliant les deux routeurs.

Les variables du simulateur sont :

- la durée de la simulation (nombre de tours)
- la taille des paquets du trafic scientifique
- la longueur des slots

Nous avons effectué les simulations avec des liens de capacité 100 Mbps. Ainsi, un tour dure  $10^{-8}$ s. Le noeud de contrôle émet 64 octets toutes les 10 ms, *i.e.* tous les 1 000 000 de tours. Les simulations durent 20 000 000 de tours, *i.e.* 200 ms. Nous faisons varier la taille des paquets et la longueur des slots.

Les résultats montrent que dans les deux cas, le débit du trafic scientifique ne varie pas avec la taille des paquets.

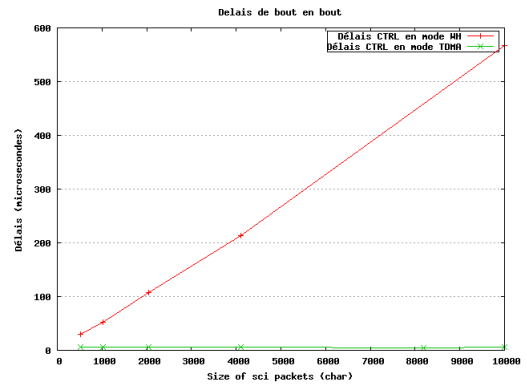


FIG. 1. Délais de bout en bout pour le trafic de contrôle

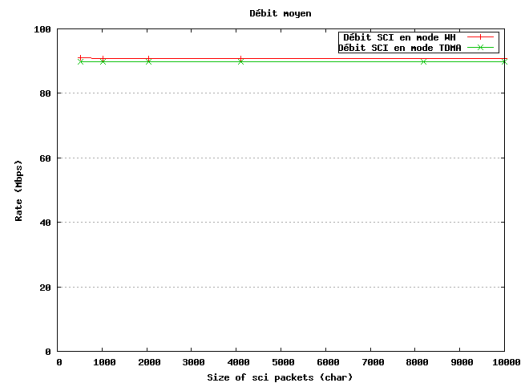


FIG. 2. Débit moyen pour le trafic scientifique

En revanche, dans le cas WH, le délai moyen pour les paquets du trafic CTRL augmente proportionnellement avec la taille des paquets (voir Figure 1). L'intérêt du mécanisme TDMA est ici évident puisqu'en l'utilisant le délai moyen reste constant quelle que soit la taille des paquets SCI. De plus, comme le montre la Figure 2, l'utilisation du mécanisme TDMA n'entraîne qu'une faible perte de débit par rapport au Wormhole Routing.

#### V. CONCLUSION

Les réseaux bords SpaceWire ont été conçus pour assurer des communications à haut débit et à faible latence entre les divers composants d'un satellite. Toutefois, l'utilisation du Wormhole Routing implique des délais difficilement maîtrisables lors du passage par les routeurs. Nous avons proposé ici un mécanisme de partage de liens basé sur le TDMA qui permet de résoudre ce problème en autorisant les paquets urgents à dépasser les paquets de grande taille de priorité plus faible. Ce mécanisme présente de bons résultats dans un cas simple comme celui présenté ici puisqu'il entraîne des délais de transmission constants pour les paquets prioritaires quelle que soit la taille des paquets non-prioritaires.

#### RÉFÉRENCES

- [1] E. C. for Space Standardization, "Standard ecss-e-50-12a, "spacewire, links, nodes, routers and networks", Janvier 2003.
- [2] S. M. Parkes and P. Armbruster, "Spacewire : A spacecraft onboard network for real-time communications," in *Real Time Conference, 2005. 14th IEEE-NPSS*, Juin 2005.