

RFC 8975 : Network Coding for Satellite Systems

Stéphane Bortzmeyer

<stephane+blog@bortzmeyer.org>

Première rédaction de cet article le 23 janvier 2021

Date de publication du RFC : Janvier 2021

<https://www.bortzmeyer.org/8975.html>

Prenons de la hauteur (c'est le cas de le dire). Les communications via satellite posent des tas de problèmes techniques. L'envoi de chaque bit coûte cher, et dans certains cas d'usage, les pertes de paquets sont nombreuses, et on cherche donc à optimiser. Ce RFC explique comment on peut utiliser le "*network coding*" pour améliorer les performances de ces liaisons. Mais c'est encore un travail en cours.

Le "*network coding*" est un mécanisme d'encodage des données qui combine différentes données dans une même chaîne de bits, avant de les re-séparer à l'autre bout. Dans le cas le plus trivial on fait un XOR des données. Mais il y a d'autres moyens comme la convolution. Le "*network coding*" n'est pas un algorithme unique mais une classe de méthodes. Ces méthodes permettent de faire voyager davantage de données sur un même canal et/ou de diminuer le délai de transmission total, en ajoutant de la redondance. Le nom de "*network coding*" venait de l'encodage réalisé dans le réseau, pour tenir compte de sa topologie. Mais on peut utiliser des techniques du même genre de bout en bout (c'est le cas de FEC, dans le RFC 5052¹). (Je vous laisse en apprendre davantage sur Wikipédia). La question de l'encodage des données étant complexe, je vous renvoie également au RFC 8406 qui décrit le travail du groupe Network Coding <<https://datatracker.ietf.org/rg/nwcrgr/>> de l'IRTF et définit les notions importantes.

Une idée de la latence dans une liaison satellite? Le RFC observe que le RTT est typiquement de 0,7 secondes <<https://spaceflight101.com/meteor-m-2-1/leo-vantage-2/>> (deux passages par le satellite, la limite de la vitesse de la lumière, et le temps de traitement).

On peut se servir des satellites pour des tas de choses dans le domaine des télécommunications mais ce RFC se focalise sur l'accès à l'Internet par satellite, tel que normalisé par l'ETSI dans « *Digital*

1. Pour voir le RFC de numéro NNN, <https://www.ietf.org/rfc/rfcNNN.txt>, par exemple <https://www.ietf.org/rfc/rfc5052.txt>

Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 2 : Lower Layers for Satellite standard <https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/30154502/01.02.01_60/en_30154502v010201p.pdf> ». (Le RFC recommande également l'article de Ahmed, T., Dubois, E., Dupe, JB., Ferrus, R., Gelard, P., et N. Kuhn, « *Software-defined satellite cloud RAN* » <<https://scanr.enseignementsup-recherche.gouv.fr/publication/doi10.1002%25252fsat.1206>> ».)

Le RFC décrit des scénarios où le *"network coding"* permet de gagner en capacité <<https://www.bortzmeyer.org/capacite.html>> et en latence effective, en encodant plus efficacement les communications. Par exemple, en combinant le trafic de deux utilisateurs, on obtient parfois une quantité de données à transmettre qui est inférieure à celle de deux transmissions séparées, économisant ainsi de la capacité. Le RFC cite également l'exemple du *"multicast"* où, lorsqu'un des destinataires n'a pas reçu un paquet, on peut, pour éviter de faire attendre tout le monde, utiliser le *"network coding"* pour ré-envoyer les données en même temps que la suite du transfert. Là encore, la combinaison de toutes les données fait moins d'octets que lors de transmissions séparées. Cela pourrait s'adapter à des protocoles *"multicast"* comme NORM (RFC 5740) ou FLUTE (RFC 6726).

Le *"network coding"* permet également d'ajouter de la redondance aux données, sinon gratuitement, du moins à un « coût » raisonnable. Cela peut servir pour les cas de pertes de données comme le précédent. Un autre cas de perte est celui où la liaison satellite marche bien mais c'est tout près de l'utilisateur, par exemple dans son WiFi, que les paquets se perdent. Vu la latence <<https://www.bortzmeyer.org/latence.html>> très élevée des liaisons satellite, réémettre a des conséquences très désagréables sur la capacité effective (et sur le délai total). Une solution traditionnellement utilisée était le PEP (qui pose d'ailleurs souvent des problèmes de neutralité <<https://www.bortzmeyer.org/neutralite.html>>). Vous pouvez voir ici un exemple où le résultat est plutôt bon <<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6716738902704566272/>>. Mais avec le chiffrement systématique, ces PEP deviennent moins efficaces. Cela redonne toute son importance au *"network coding"*.

Enfin, des pertes de paquets, avec leurs conséquences sur la latence car il faudra réémettre, se produisent également quand un équipement terminal passe d'une station de base à l'autre. Là encore, le *"network coding"* peut permettre d'éviter de bloquer le canal pendant la réémission.

Tout cela ne veut pas dire que le *"network coding"* peut être déployé immédiatement partout et va donner des résultats mirifiques. La section 4 du RFC décrit les défis qui restent à surmonter. Par exemple, les PEP (RFC 3135) ont toujours un rôle à jouer dans la communication satellitaire mais comment combiner leur rôle dans la lutte contre la congestion avec le *"network coding"*? Faut-il réaliser cet encodage dans le PEP (RFC 9265)? D'autre part, le *"network coding"* n'est pas complètement gratuit. Comme tout ajout de redondance, il va certes permettre de rattrapper certaines pertes de paquet, mais il occupe une partie du réseau. Et dans quelle couche ajouter cette fonction? (Les couches hautes ont l'avantage de fenêtres - le nombre d'octets en transit - plus grandes, alors que les couches basses ne voient pas plus loin que le bout du paquet.)

Outre l'utilisation de satellites pour la connectivité Internet des Terriens, il y a aussi une utilisation des communications spatiales pour échanger avec des vaisseaux lointains. La latence très élevée et l'indisponibilité fréquente de la liaison posent des défis particuliers. C'est ce qu'on nomme le DTN (*"Delay/Disruption Tolerant Network"*, décrit dans le RFC 4838). Le *"network coding"* peut aussi être utilisé ici, comme présenté dans l'article de Thai, T., Chaganti, V., Lochin, E., Lacan, J., Dubois, E., et P. Gelard, « *Enabling E2E reliable communications with adaptive re-encoding over delay tolerant networks* » <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7248441>> ».

Et, comme le rappelle la section 9 du RFC, il faut aussi tenir compte du chiffrement, qui est évidemment obligatoire puisque les liaisons avec les satellites peuvent trop facilement être écoutées.

Merci à Nicolas Kuhn et Emmanuel Lochin pour leur relecture attentive, sans laquelle il y aurait bien plus d'erreurs. (Je me suis aventuré très en dehors de mon domaine de compétence.) Les erreurs qui restent sont évidemment de mon fait.