

Les mécanismes de contrôle de congestion dans ATM

Bernard Cousin

Laboratoire IRISA
Université de Rennes-1
Campus universitaire de Beaulieu
35042 RENNES

bcousin@irisa.fr
(33) 99.84.73.33
(33) 99.84.71.71

Sommaire

Cette présentation va décrire les différents mécanismes de contrôle de congestion mis en oeuvre au sein du réseau ATM. Nous allons d'abord décrire en quoi ces mécanismes de congestion sont indispensables au bon fonctionnement du réseau : le multiplexage statistique provoque des congestions. Puis après avoir montré la spécificité de ces mécanismes au sein des réseaux à haut débit, nous proposons quelques éléments de classification des différents mécanismes de contrôle de congestion, notamment le temps de réaction. Nous introduisons la notion de contrat de trafic : le descripteur de trafic contient les paramètres qui définissent le trafic qui sera négocié et puis contrôlé par nos mécanismes. Deux mécanismes de contrôle de congestion préventifs sont décrits : le contrôle de l'établissement des connexions et le contrôle de conformité du trafic. Le premier intervient lors de la demande d'établissement des connexions afin de ne pas surcharger les ressources du réseau. Le second contrôle la conformité du trafic soumis par les usagers ou les autres réseaux. Puis deux mécanismes de contrôle de congestion réactifs sont présentés : le mécanisme de rejet sélectif de cellules et celui de rétrocontrôle. Le premier choisit les cellules à détruire pour traiter la congestion, le second permet de réduire le débit soumis par l'application afin de ne pas amplifier (et si possible éviter) la congestion. Nous concluons par quelques considérations sur d'autres mécanismes de contrôle de congestion.

1. Introduction

Les réseaux ATM se doivent d'offrir des services de transmission de données, simultanément, à un très grand nombre d'applications qui ont des besoins très variés. Ces besoins, pour une même application, peuvent même être très variables au cours du temps. Par exemple, certaines applications peuvent, cycliquement, ne rien transmettre pendant un certain temps et, brutalement, avoir besoin de disposer de la totalité de la bande passante afin de transmettre rapidement une grande quantité de données. On appelle cette accumulation brutale de données : avalanche ou "burst". La sporadicité ou "burstiness" mesure la fréquence et l'amplitude de ces avalanches.

Afin d'assurer un taux moyen d'utilisation correct, et donc, un coût financier tolérable, et comme le comportement des flux de données de certains types de connexions sont peu ou pas prévisibles, il n'est pas envisageable de réserver pendant la totalité de la durée des connexions la totalité des ressources qu'elles sont susceptibles d'utiliser. Les ressources doivent être attribuées de manière dynamique.

Comme les ressources du réseau sont partagées par de nombreuses connexions, un multiplexage des ressources du réseau entre les différentes connexions est statistiquement envisageable (et économiquement rentable). Les ressources inutilisées temporairement par une connexion peuvent l'être par une autre, ce qui conduit à une optimisation globale de l'utilisation des ressources du réseau.

Ce multiplexage statistique, s'il permet une optimisation globale du réseau, a un revers : les données d'une connexion ne sont pas assurées de trouver à tout moment l'ensemble des ressources nécessaires à leur acheminement. Plusieurs connexions, simultanément en activité, peuvent vouloir acheminer à travers le même lien une trop grande quantité de données pour la capacité du lien. Ce conflit d'accès au lien va se traduire, dans un premier temps, par une accumulation des cellules dans le commutateur en amont du lien, ce qui entraînera un accroissement du délai de transfert de ces cellules, puis dans un deuxième temps (si le phénomène persiste) par un dépassement des capacités de stockage du commutateur, ce qui entraînera inévitablement une perte de certaines cellules.

Les mécanismes de contrôle de congestion sont chargés d'éviter, d'atténuer et de corriger ces phénomènes.

2. Congestion

La congestion est définie comme l'état des équipements du réseau, dans lequel le réseau n'est pas en mesure de satisfaire les objectifs négociés en matière de performance pour les connexions déjà établies ou pour de nouvelles demandes d'établissement de connexion.

La congestion du réseau provoque des pertes de cellules, pertes qui peuvent s'avérer excessives vis-à-vis de la QoS négociée avec les applications, et la saturation des espaces de stockage des cellules, saturation qui peut entraîner des temps de transfert des cellules inacceptables vis-à-vis de la QoS négociée avec les applications.

Deux objectifs opposés et contradictoires peuvent être attribués au contrôle de congestion, le premier est relatif au service offert aux applications, le second est relatif à l'optimisation du réseau. Le premier objectif est de garantir pour chaque connexion la qualité de la transmission des données en terme, par exemple, de taux de perte de cellules et de délai de transfert. Le deuxième objectif est de gérer de manière optimale les ressources du réseau afin de servir le plus d'applications possibles au mieux.

Les mécanismes mis en oeuvre pour assurer le contrôle de congestion doivent posséder les propriétés suivantes : la flexibilité, l'efficacité, le robustesse. La flexibilité permet au contrôle de congestion de s'adapter aux différents types de qualité de service

demandées par les applications. L'efficacité, grâce à une utilisation de mécanismes de contrôle de congestion simples (peu complexes) et systématiques (homogènes), permet l'utilisation maximum des ressources disponibles du réseau. La robustesse assure une conservation de l'offre des services de transmission en toutes circonstances.

Les différents mécanismes de contrôle de congestion ont des temps de réponse variés. Ainsi le mécanisme de rejet de cellule a un temps de réaction de l'ordre du temps d'insertion d'une cellule. De même, les mécanismes nécessitant une boucle de rétrocontrôle ont un temps de réaction de l'ordre du temps de propagation aller et retour. La multiplicité des mécanismes répond aux besoins d'agir à différentes échelles de temps.

Si le phénomène de congestion n'est absolument pas propre à ATM, car tous les réseaux de communication numériques utilisant le mode de transmission asynchrone et par paquets ont des mécanismes de contrôle de congestion, il convient de développer des mécanismes de contrôle de congestion spécifiques qui doivent tenir compte des hauts débits gérés par ATM. Ainsi la très grande capacité d'une connexion ATM, c'est-à-dire le produit du délai de propagation par le débit, rend la plupart des mécanismes réactifs inefficaces. En effet dans les mécanismes usuels de contrôle de flux, soit le débit efficace réel est considérablement réduit (par exemple lorsque la largeur de la fenêtre est trop faible vis-à-vis de cette capacité), soit les informations de rétrocontrôle sont reçues (trop tard) alors que les données ont déjà été émises en trop grande quantité.

Deux grandes classes de mécanismes de contrôle de congestion peuvent être discernées : la classe des mécanismes préventifs (contrôle d'établissement des connexions, contrôle de conformité du trafic, etc.) et celle des mécanismes réactifs (rejet sélectif de cellules, boucle de rétrocontrôle, etc.).

3. Le contrat de trafic

Nous avons vu que la congestion est définie par le non respect de la qualité de la connexion. Cette qualité est définie à travers un contrat de trafic négocié entre l'utilisateur et le réseau lors de l'établissement de la connexion.

En fonction des différentes classes de trafic (CBR, VBR, ABR, etc.), le descripteur de trafic comporte un nombre variable de paramètres. Parmi ceux qui ont trait directement au contrôle du flux de données, on peut citer le débit cellulaire crête (PCR : peak cell rate), le délai de propagation (CTD : cell transfer delay), la gigue (CDV : cell delay variation), le débit moyen (SCR : sustainable cell rate), le débit minimum (MCR : minimum cell rate), le taux toléré d'erreur (CLR : cell loss rate), etc. Ces paramètres ne servent pas tous à toutes les classes de trafic, et on remarque que deux niveaux de qualité peuvent être définis pour chaque connexion puisque les cellules au sein d'une même connexion ATM peuvent appartenir à deux niveaux de priorité (CLP : cell loss priority bit).

4. Le contrôle d'établissement des connexions

Le contrôle d'établissement des connexions (CAC : connection admission control) limite le nombre de connexions dans le réseau de manière à permettre de garantir la qualité des connexions établies en maintenant le partage des ressources entre un nombre raisonnable de connexions. Le CAC analyse la demande d'établissement à travers le descripteur de trafic, notamment le débit nécessaire à cette demande (Equivalent bandwidth) est calculé. Puis le CAC recherche un chemin possédant les ressources disponibles ayant la capacité de supporter cette demande.

Du fait de l'utilisation du partage statistique des ressources et de l'apparition probable de défaillances imprévisibles du réseau, le contrôle d'établissement des connexions ne peut pas garantir le respect total des termes du contrat de trafic.

Afin de pallier à la lenteur de la mise en oeuvre de tels mécanismes, une fonction de gestion rapide des ressources peut être proposée. Elle repose sur un protocole FRP (Fast reservation protocol) et peut être judicieusement combinée avec la classe de trafic ABT (ATM Block Transfer). Dans cette classe de trafic, le flux de données est structuré en blocs (groupe de cellules). Deux variantes sont envisagées ABT/IT et ABT/DT (immediate or delayed transmission).

5. Le contrôle de la conformité du trafic

Les flux de données soumis par les usagers (ou échangés entre deux réseaux ayant des opérateurs différents) sont susceptibles de ne pas être conformes aux contrats de trafic qu'ils ont négociés : soit par malveillance, soit par erreur involontaire. Le contrôle de conformité du trafic (UPC ou NPC : user or network parameter control) doit détecter rapidement toute situation interdite de trafic et doit avoir une mise en oeuvre simple.

La difficulté de définir un débit cellulaire moyen, puisqu'il dépend de l'intervalle de mesure, a conduit à proposer une méthode opératoire basée sur un algorithme. Cet algorithme, appelé CGRA : "generic cell rate algorithm", n'est que l'extension dans un espace continu de valeurs, de la méthode appelée "Leaky bucket". Cette méthode permet de contrôler si le débit soumis est bien inférieur à un débit de référence (la fuite du seau), tout en admettant de brefs dépassements de débit (la contenance du seau). Le CGRA est défini par deux paramètres T et τ , respectivement la période intercellulaire et la tolérance de la gigue.

Les cellules non conformes peuvent être marquées, détruites ou retardées. Elles peuvent être marquées à l'aide du bit CLP, et seront considérées comme moins prioritaires et donc potentiellement détruites dès qu'une congestion apparaîtra ou sera susceptible d'apparaître. Elles peuvent aussi être détruites dès leur entrée dans le réseau car ne respectant pas le contrat. Le contrôleur de conformité prend un rôle de régulateur s'il est possible de retarder les cellules afin de les espacer les unes des autres, ainsi lors de leur retransmission elles respectent le contrat de trafic. Un tel mécanisme est appelé espaceur (shaper).

On note que les différents équipements du réseau ATM modifient temporellement le flux de données en introduisant des retards variables (gigue d'insertion, gigue de multiplexage, gigue de segmentation, gigue de congestion, etc.). La conformité d'un flux de données dépend donc de son environnement. Cette mesure n'étant pas stable une certaine tolérance est absolument nécessaire.

6. Rejet sélectif de cellules

Parmi les actions correctives de la congestion, le rejet sélectif de certaines cellules intervenant dans la congestion est celle qui agit le plus rapidement et le plus efficacement. Les cellules sélectivement détruites sont, au sein d'une même connexion, les cellules marquées. Elles ont été marquées soit par l'utilisateur pour indiquer qu'elles sont moins prioritaires, soit par le mécanisme de contrôle de conformité. Si cela ne suffit pas, les cellules des connexions les moins contraignantes sont sélectivement choisies pour être détruites.

On note que certaines cellules étant détruites, il devient inefficace de transmettre les autres cellules constituant avec celles-ci des messages. Il est proposé de

détruire ces autres cellules, même si celles-ci sont transmises lorsque la congestion a cessée

7. Notification de congestion

La notification de congestion est un mécanisme permettant d'assister le réseau dans le traitement des congestions ou dans leur évitement. Ce service doit agir sur le débit soumis au réseau par les applications. Il est optionnel. Un équipement du réseau en état de congestion marque l'en-tête de la cellule (EFCI bit : Explicit forward congestion indication"). Cette indication est traitée par le destinataire, qui peut demander à l'aide de cellules spécifiques (RM cell : Resource management) à l'émetteur d'adapter son débit.

Ce mécanisme est similaire aux mécanismes de contrôle de flux, il est basé sur un rétrocontrôle et donc nécessite un temps de réaction au moins égal au temps de propagation aller et retour. Des optimisations sont proposés utilisant des notifications de congestion allant non plus vers l'aval mais vers l'amont (BECN : backward ECN).

On note que la décision d'émettre la notification de congestion peut être basée sur le franchissement de seuil et donc peut anticiper l'apparition de congestion.

8. Conclusion

D'autres techniques de contrôle de congestion existent. Certaines veulent totalement éviter les congestions par un contrôle précis des espaces de stockage des commutateurs par les commutateurs amont. Dans cette technique, le commutateur aval transmet au commutateur amont des crédits l'autorisant à émettre une certaine quantité de cellules (Credit-based flow control). Ces crédits sont l'expression de l'existence d'espace de stockage disponible. L'échange d'information se faisant entre commutateurs adjacents, le temps de réaction est court. Enfin, le ré-acheminement ou l'adaptation de débit peuvent introduire une certaine flexibilité qui devraient permettre de traiter avec plus d'efficacité les congestions.

Bibliographie

Recommandations UIT-T I.371. "RNIS, aspects généraux et fonctions globales du réseau : gestion du trafic et des encombrements dans le RNIS à large bande", mars 1993.

K.Bala, I.Cidon, K.Sohraby. "Congestion control for high speed packet switched network", proceedings of IEEE INFOCOM'90, 1990.

J.Bae, T.Suda. "Survey of traffic control schemes and protocols in ATM networks", proceedings of IEEE 79 (2), février 1991.

P.Boyer, D.Tranchier. "A reservation principle with application to the ATM traffic control", Computer Networks and ISDN Systems 24, 1992.

J-P.Coudreuse, P.Boyer, D.Tranchier, "Contrôle de trafic et gestion de ressources", l'Echo des recherches vol 144, 2^{ème} trimestre 1991.

B.Cousin, O.Durand, "Quadratic shaping for dynamic bandwidth allocation", proceedings of first workshop on ATM Traffic Management, Paris, décembre 1995.

A.Eckert, "B-ISDN/ATM trafic and congestion control", IEEE Network, vol6 n°5, septembre 1992.

F.Guillemain, C.Lever, C.Rosenberg, "Cell conformance testing with respect to the peak cell rate in ATM networks", Computer Networks and ISDN Systems 27, 1995.

D.Hong, T.Suda,. "On congestion control and prevention in an ATM network, IEEE network magazine, juillet 1991.

H.Tung, A.Chapman, "The FCVC (Flow-controlled virtual channels) proposal for ATM networks", proceedings of Int. Conf. on Network Protocols, San Francisco août 1993.

M.Lemercier, G.Pujolle, "Contrôle d'accès dans les réseaux ATM : étude des performances des *Leaky buckets*", revue Réseaux et Informatique Répartie n°3, 1993.

P.Newman, "Traffic management for ATM local area network", IEEE communications magazine vol 32 n°8, août 1994.

K.Ramakrishnan, P.Newman, "Integration of rate and credit schemes for ATM flow control", IEEE network, avril 1995.

K.Sriram, "Methodologies for bandwidth allocation, transmission scheduling, and congestion avoidance in broadband ATM networks", Computer Networks and ISDN Systems 26, 1994.