

Les méthodes d'accès des réseaux à haut débit

par
Bernard Cousin

Irisa
Université de Rennes-1
Campus universitaire de Beaulieu
RENNES 35402

bcousin@irisa.fr

1. Introduction

Les réseaux locaux sont caractérisés, entre autres, par la présence d'un support commun partagé par l'ensemble des stations qui veulent communiquer. Ce partage d'un même support offre de nombreux avantages. Grâce à son homogénéité, il facilite la mise en oeuvre de la connexion physique et procure une grande souplesse d'installation, tout ceci à un faible coût. Grâce à la diffusion naturelle des données qui lui sont confiées, il supprime le problème difficile du routage (du moins localement). De plus, cela autorise l'exploitation efficace de cette diffusion, c'est à dire sans émission multiple des messages à diffuser.

Malheureusement ce partage du support a un revers, car toutes les stations ne peuvent pas utiliser simultanément le support pour communiquer. En effet une utilisation incontrôlée provoquerait ce que l'on appelle une collision, c'est à dire un chevauchement des trames émises, empêchant toute bonne réception : comme deux stations de radio dont les fréquences seraient trop proches. La coopération des différentes stations interconnectées par le même support est nécessaire. Elles doivent respecter une règle : la méthode d'accès au support.

La méthode d'accès, si elle a pour avantage d'assurer le bon fonctionnement du réseau, a pour inconvénient de retarder la communication (délai d'accès). Néanmoins l'obligation de présence d'une méthode d'accès favorise la mise en place de politique d'accès spécifique (priorité, contrôle de flux, confirmation de bonne transmission) à un très faible coût supplémentaire. La politique d'accès a pour rôle d'assurer la répartition de la charge du réseau entre les stations en fonction de l'importance relative de leurs données et du type d'accès demandé.

Les méthodes d'accès ont le double rôle (parfois antagoniste) de proposer, d'une part une optimisation locale à chaque station en répondant avec efficacité aux demandes des différentes applications, et d'autre part une optimisation globale du réseau permettant au plus grand nombre de communiquer.

Le problème posé par les communications à haut débit crée une situation comparable à celle rencontrée dans le domaine des communications par satellite. En effet, l'augmentation du débit ou de l'étendue du réseau modifie l'importance relative du délai de propagation vis à vis du délai de transmission et du délai d'accès. Or les nombreuses méthodes d'accès existantes font implicitement l'hypothèse que ces délais sont compris dans des intervalles temporels souvent assez stricts. Par exemple, tous les protocoles utilisent des temporisateurs pour contrôler leur fonctionnement dont la valeur est basée sur la connaissance plus ou moins parfaite de ces délais.

Les besoins des applications en haut débit et en services spécifiques vont d'ici quelques temps se faire sentir, concomitamment avec la diffusion de nouvelles applications interactives et multimédia. Déjà, certaines applications industrielles ont nécessité l'adjonction de politiques d'accès spécifiques aux méthodes d'accès. Ces politiques d'accès sont chargées de garantir une certaine qualité de la transmission : la garantie de disposer d'une certaine partie de la largeur de bande passante disponible sur le réseau, d'un délai de transmission borné, d'une fiabilité accrue, etc. Ceci explique en partie l'apparition de plusieurs méthodes d'accès pour les réseaux locaux.

Une méthode d'accès s'accompagne généralement d'un protocole qui se concrétise lors de la description du format des trames échangées. Nous n'aurons pas l'occasion, ici, de décrire ni d'analyser leur contenu faute de temps et de place. Nous nous contenterons pour l'essentiel d'une description abstraite du format des trames, le lecteur intéressé pourra utilement consulter les normes.

De même, nous n'aborderons pas les caractéristiques des différents supports, notamment l'étude de leur bande passante, ni les procédés de codage de transmission, ni la synchronisation des horloges bien qu'elle soit essentielle pour une bonne réception, ni l'architecture du réseau et de ses composants physiques, ni les particularismes des différents connecteurs, etc.

802.2 définit la sous-couche LLC : son service et son protocole. Les normes IEEE 802.3, 802.4, 802.5 définissent respectivement les méthodes d'accès connues commercialement sous les noms suivants : Ethernet, Token Bus et Token Ring. Cet ensemble n'est pas clos, de nombreuses autres méthodes d'accès ont fait depuis leur apparition. Elles ont été soit proposées puis normalisées par d'autres institutions, par exemple le réseau FDDI (ANSI X3T9.5), soit proposées mais leur normalisation n'a pas été entérinée, par exemple l'Ethernet à 100 Mbit/s (IEEE 802.12).

Chacune des normes décrivant une méthode d'accès de la sous-couche MAC est accompagnée par une spécification de son administration. L'administration du réseau (SMT : "Station Management") participe activement à l'établissement, à la surveillance, au diagnostic et à la reconfiguration du réseau, ainsi qu'à la détection et à la correction des fautes.

Par la suite, nous n'allons pas revenir sur la sous-couche LLC puisque nous allons nous intéresser ici aux méthodes d'accès. Toutefois il est important de savoir que les services rendus par la sous-couche LLC sont définis comme pouvant être de trois types : les services de type 1 utilisent un mode de transmission non connecté et sans acquittement, les services de type 2 utilisent le mode de transmission connecté avec acquittement, alors que les services de type 3 utilisent le mode de transmission non connecté mais avec un acquittement simplifié. Pour l'essentiel, le mode de transmission connecté permet d'effectuer un contrôle de flux et de respecter la séquentialité de la transmission, l'acquittement permettant d'assurer (de fiabiliser) la transmission. Dans le monde des réseaux locaux les services de type 1 sont les plus fréquemment proposés. Ces services sont rendus par un protocole dont le format des trames, notamment, est inspiré du protocole HDLC (High Data Link Control).

Le principe de deux sous-couches, permettant d'assurer l'indépendance du service vis-à-vis de différentes mises en oeuvre possibles, a été repris pour la couche Physique. Cela permet qu'un même protocole de niveau Liaison (une même méthode d'accès) utilise indifféremment plusieurs supports physiques (et les différents procédés de codage et de transmission associés). Ainsi, si à l'origine le réseau Ethernet a été conçu pour utiliser des câbles coaxiaux, maintenant des solutions existent utilisant des paires torsadées ou des fibres optiques. A contrario, originellement prévu pour utiliser (comme son nom l'indique) des fibres optiques, FDDI est maintenant proposé sur paires torsadées (CDDI).

Bien que le partage d'un même support simplifie considérablement le routage, les trames échangées possèdent deux champs chargés de contenir, d'une part l'adresse de la station destinataire de la trame, d'autre part l'adresse de la station émettrice de la trame. En effet, les stations ont besoin de savoir si les trames qu'elles voient passer leur sont destinées. En fait ces adresses peuvent avoir un format court ou long (16 ou 48 bits), être unique universellement ou localement au réseau, désigner une station ou un groupe de stations. Ces conventions sont respectées par l'ensemble de ces normes, ce qui facilite l'interconnexion de réseaux locaux utilisant des méthodes d'accès différents. Cette interconnexion au niveau Liaison est réalisée par des équipements couramment nommés ponts. Malheureusement certains services n'étant pas présents pour certaines de ces méthodes, il est très difficile de conserver une compatibilité à leur niveau. De même on notera que l'ordre de transmission des bits ayant varié d'une norme à l'autre, une même suite de bits doit être, alors, permutée pour être correctement interprétée.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les trois méthodes d'accès des réseaux Ethernet, Token Ring et FDDI. La méthode d'accès du Token Bus (IEEE 802.4), basée aussi sur un jeton, est assez proche de celle du Token Ring et encore plus de celle de FDDI. Cependant, sa particularité est d'utiliser une topologie linéaire (un bus). Un anneau logique est créé pour permettre la circulation du jeton. Chaque station émet le jeton vers un successeur logique et non plus physique. La constitution et le maintien des successeurs a pour conséquence de compliquer considérablement le protocole. C'est pourquoi nous avons choisi de ne pas l'étudier ici.

2.2. Ethernet

2.2.1. Présentation

Ethernet, proposé à l'origine par un trio d'entreprises (Digital, Intel, Xerox), a été normalisé en 1985. Sa méthode d'accès est plus génériquement appelée CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection). D'une part, elle utilise les capacités des stations

porteuse est présente). Ce temps correspond au temps de propagation du signal à toutes les stations. Le cas limite est formé par deux stations situées aux deux extrémités du réseau. La seconde station ne commençant à émettre qu'à l'instant précédent l'arrivée du signal constituant les informations émises par la première. Ainsi la première station ne détectera la collision qu'au bout d'une durée égale au temps d'aller et retour du signal entre les deux stations. Cette durée fondamentale au bon fonctionnement d'Ethernet est généralement traduite en nombre de bits et plus exactement en taille minimale de trame. En effet, si la trame de la première station était trop courte, elle pourrait avoir fini d'émettre avant le retour du signal permettant la détection de la collision. Cette collision aurait été détectée par la seconde station mais passerait inaperçue pour la première. Aux vues du diamètre maximal du réseau Ethernet, de la vitesse de propagation du signal dans le support, des délais de traversée des divers équipements constituant un réseau Ethernet et du débit nominal, la taille minimale a été fixée à 64 octets (Figure 3).

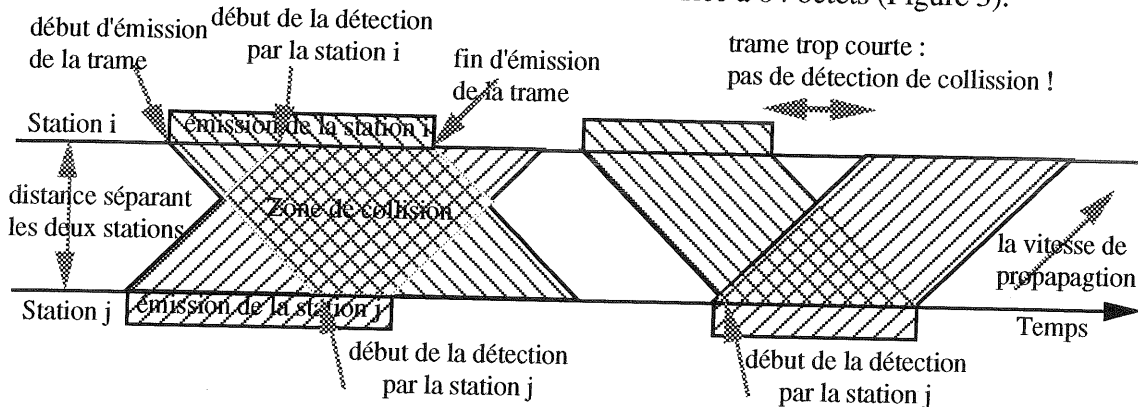


Figure 3 - La taille minimale de la trame

Lorsque l'entité protocolaire de niveau supérieur désire ne transmettre qu'une petite quantité de données, le champ de données de la trame d'Ethernet est complété à concurrence de la taille minimale par (ce qui est appelé communément) un bourrage.

Après qu'une station ait constaté une collision, elle cesse d'émettre. Une nouvelle tentative d'émission ne sera possible qu'au bout d'un délai tiré aléatoirement à l'intérieur d'un intervalle dont la largeur double à chaque nouvelle tentative d'émission infructueuse de la même trame. Ce principe est connu sous le nom de BEB (Binary Exponential Backoff).

Le nombre de tentatives de retransmission est borné (par défaut à 16). Ainsi sous Ethernet, l'émission d'une trame, qui subit de trop nombreuses tentatives de retransmission et expérimente à chaque fois une collision, est abandonnée.

Chaque partie réceptrice des stations vérifie si les trames passant sur le bus leur sont destinées. Pour ce faire, et c'est le cas pour tous les réseaux locaux donc aussi pour Token Ring et FDDI, les trames sont munies d'une adresse de destination. Cette adresse pouvant représenter soit une station unique, soit un groupe de stations.

2.2.3. Conclusion

Les avantages de cette méthode d'accès sont clairs. La méthode d'accès est extrêmement simple car elle ne nécessite aucune synchronisation, aucune échange d'information entre les stations.

A faible charge, le délai d'accès au réseau est des plus réduits. Cependant le service rendu n'est pas déterministe ce qui peut être un inconvénient majeur pour certaines classes d'applications, et la méthode perd beaucoup de son efficacité lorsque la charge totale du réseau est importante (écroulement).

Donc, la politique d'accès d'Ethernet est inexistante ou, ce qui revient un peu au même, aléatoire. Aucun service autre qu'une simple transmission de données ne peut être demandé. C'est toutefois la méthode d'accès (et le réseau local) la plus largement diffusée de par le monde.

Grâce à la présence de bits supplémentaires situés en fin de trame, l'émetteur est à même de vérifier le déroulement de l'émission. Chaque station intermédiaire vérifie la trame au vol et positionne les bits correspondants, si nécessaire. Trois faits sont détectés : la corruption, la reconnaissance et l'acquisition de la trame. La corruption de la trame est constatée par comparaison du champ de contrôle d'erreur de la trame et du résultat du calcul de contrôle d'erreur effectué à chaque station intermédiaire. Une station constate qu'une trame lui est destinée lorsqu'elle reconnaît son adresse (ou une adresse de groupe auquel elle appartient) en tant qu'adresse de destination figurant dans la trame. Finalement, après s'être reconnue comme destinataire d'une trame, une station indique qu'elle a eu le temps et l'espace de stockage pour acquérir une copie de la trame.

On notera toutefois que ces bits étant placés en fin de trame et le jeton étant relâché par l'émetteur dès réception de l'entête de la trame, l'émetteur ne peut en aucun cas utiliser l'information contenue dans ces bits pour tenter de corriger ce qui s'est déroulé par une retransmission.

Pour l'instant, la méthode d'accès peut sembler assez simple, mais nous allons devoir y ajouter quelques contrôles indispensables pour qu'elle soit complète. Ce qui va encore alourdir le protocole. On notera qu'aucun des mécanismes suivants ne sont présents pour (ni utiles à) la méthode d'accès d'Ethernet.

Il faut être capable de contrôler la connexité de l'anneau. Ce contrôle est effectué lors de l'initialisation par une trame spécifique, et, en phase de fonctionnement normal par chaque station qui, grâce à des temporisateurs, vérifie que des trames tournent bien sur l'anneau régulièrement.

Il faut être capable de générer le premier jeton. Ce rôle est dévolu à une station particulière élue parmi toutes les autres, appelée station monitrice ("monitor station").

Cette station monitrice a un rôle très particulier. Soulignons toutefois que toute station est susceptible de devenir monitrice, bien que, normalement et à tout moment, une seule au plus l'est à l'intérieur d'un réseau Token Ring.

L'élection de la station chargée de devenir monitrice, est effectuée lors de l'initialisation et à chaque reconfiguration majeure du réseau. L'élection est basée sur une méthode de résolution des conflits ("contention resolution"). Ces conflits risquant de survenir si simultanément plusieurs stations veulent devenir monitrices. Chaque station voulant devenir monitrice émet une trame spécifique (appelée CL_TK : "Claim Token") qui, si elle lui parvient après avoir effectué le tour de l'anneau, décide de son élection. Une station monitrice potentielle ne laisse passer les trames "claim token" que des stations ayant une adresse supérieure. Avec ce protocole (cet algorithme distribué), parmi les stations voulant devenir monitrice, la station ayant l'adresse la plus élevée est donc élue.

Cette station monitrice a comme multiple charges de contrôler la circulation de trames folles. Ces trames n'ont aucune station qui se reconnaît comme leur émettrice (dû à une corruption de l'adresse de l'émetteur). Pour ce faire, chaque trame de données est munie d'un bit qui est initialisé lors de l'émission. Lors du passage de la trame devant la station monitrice, si le bit est dans l'état initial sa valeur est modifiée, si le bit a déjà été modifié c'est que la trame a effectué plus d'un tour : la trame est, alors, retirée de l'anneau par la station monitrice.

Le contrôle de la station monitrice est effectué par toutes les autres stations qui surveillent son comportement. Notamment si ce bit est bien régulièrement positionné, et si besoin, en testant la présence de la station monitrice grâce à l'envoi de trames spécifiques (trame AMP : "Active Monitor Present" et SMP : "Standby Monitor Present").

Le contrôle de la perte du jeton est basé sur un temporisateur présent dans chaque station. Ce temporisateur est armé à une valeur, appelé TNT ("No Token Timer") équivalente à la durée maximale de rotation du jeton et estimée à 4M durée_bits. Le temporisateur est ré-initialisé à chaque émission d'un jeton. S'il se déclenche une perte de jeton est détectée.

L'algorithme d'élection de la station monitrice (et la remise correcte des données aux stations) étant basé sur l'unicité des adresses des stations, chaque station lors de son insertion dans l'anneau est chargée de s'assurer de cette unicité. Elle y parvient grâce à l'envoi d'une trame spécifique (trame DAT : "Duplicate Address Test").

protocole pour un réseau local (métropolitain) à haut débit (100 Mbit/s) utilisant pour support de communication la fibre optique et présentant une étendue maximale de 100 km. La topologie proposée est un double anneau, qui permet l'interconnexion au maximum de 500 stations.

Le plus fréquemment, le réseau FDDI est utilisé en tant que réseau fédérateur ("backbone"). Il assure l'interconnexion des nombreux réseaux locaux situés dans les différents départements de l'entreprise qu'il couvre. L'étendue couverte, les mécanismes de contrôle des pannes et le débit proposé semblent parfaitement adaptés à ce type d'utilisation. En effet, premièrement, les départements peuvent être répartis sur différents étages et dans différents bâtiments éloignés, deuxièmement, la fiabilité du réseau devient de plus en plus essentiel, troisièmement, un trafic énorme risque de converger sur le réseau.

Grâce à son débit et aux services spécifiques, que nous allons décrire par la suite, FDDI pourrait être utilisé directement pour l'interconnexion de machines particulières comme les machines parallèles, les serveurs ou les stations multimédia. En effet, les premières sont très puissantes et génèrent beaucoup d'échanges de données. Les dernières peuvent avoir besoin d'un service de transport proposant un débit réservé ou un délai d'accès et de transmission faible, pour offrir une bonne interactivité aux applications réparties sur les différentes stations.

2.4.2. La méthode d'accès

La méthode d'accès utilisée par FDDI est très proche de celle du Token Ring : la topologie est annulaire et un jeton, donnant le droit d'émettre, y circule. Cependant la rotation du jeton est contrôlée temporellement. L'ensemble des stations s'accordent sur un temps de rotation du jeton cible : le TTRT. Chaque station mesure le temps de rotation réel à l'aide d'un temporisateur : le TRT.

Il est apparu rapidement (et nous le constaterons par la suite) qu'il était peu efficace de se contenter de conserver la norme IEEE 802.5 et d'augmenter le débit, comme on l'avait déjà fait lors de la normalisation du Token Ring à 1, 4 puis 16 Mbit/s. En effet, le temps de gestion de la méthode d'accès, notamment celui du jeton, devient non négligeable.

Une grandeur permet de caractériser ce fait : la contenance du réseau. C'est le délai de transmission exprimé en durée_bit. Une première approximation donne la formule suivante (C étant la contenance, L la longueur du réseau, D le débit nominal, et V la vitesse de propagation) : $C = L * D / V$.

Cette formule donne une approximation basse de la contenance réelle. En effet, elle néglige les nombreux délais introduits par les stations et les équipements intermédiaires.

Si on applique cette formule élémentaire à Token Ring puis à FDDI, on constate un accroissement de la contenance de plus d'un facteur 300 !

$$C_{\text{Token Ring}} = 2 \text{ (km)} * 16 \text{ (Mbit/s)} / 200.000 \text{ (km/s)} = 160 \text{ bits.}$$

$$C_{\text{FDDI}} = 100 \text{ (km)} * 100 \text{ (Mbit/s)} / 200.000 \text{ (km/s)} = 50.000 \text{ bits.}$$

En fonctionnement normal, le réseau Token Ring contient moins d'une trame, alors que FDDI peut en contenir plusieurs centaines.

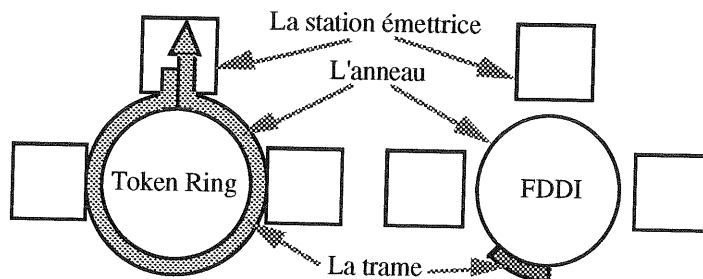


Figure 4 - La contenance

Dans le cadre d'une grande contenance (débit et étendue importantes), la règle de relâchement du jeton utilisée par Token Ring (après réception de l'entête de la trame par l'émetteur) a pour conséquence de provoquer une faible occupation de réseau et donc de l'utiliser de manière inefficace. En effet dans ces conditions, il est peu probable qu'une station lors de chaque émission émette suffisamment de données (même en utilisant la transmission de multi-trames) pour utiliser la

Deux classes de service de transmission sont définies : la classe de transmission synchrone, et la classe de transmission asynchrone (cette dernière classe pouvant fonctionner en mode restreint ou non). La classe de service synchrone garantit un délai d'accès et une partie de la bande passante totale.

A chaque arrivée du jeton, la station ayant réservée, grâce au service synchrone, une partie de la bande passante à le droit d'émettre jusqu'à concurrence de la quantité allouée. La classe de service asynchrone récupère la partie de la bande passante non-allouée au service synchrone ou inutilisée.

Cette politique d'accès est basée essentiellement sur le temps de rotation du jeton. Le temps cible est négocié entre toutes les stations lors de l'initialisation de l'anneau, il est mémorisé à chaque station par le TTRT : "Target Token Rotation Time". La méthode d'accès garantit qu'au plus un intervalle de temps égal à $2 * TTRT$ sépare deux arrivées du jeton à une même station. De plus, la méthode d'accès garantit qu'au plus en moyenne un intervalle de temps égal à TTRT sépare deux arrivées du jeton à une même station.

Cette politique d'accès est obtenue grâce à la mesure du temps de rotation réel entreprise dans chaque station à l'aide du temporisateur TRT : "Token Rotation Timer". Ce temporisateur est (ré-) initialisé dès qu'un jeton arrive à une station. Il mesure le temps utilisé par toutes les stations pour émettre des trames, pour faire circuler le jeton et le temps de propagation des trames et du jeton.

Le jeton est en retard, si le temps de rotation réel dépasse de temps négocié ($TRT > TTRT$). Le jeton est en avance dans le cas contraire. Lorsqu'un jeton arrive en avance, le temporisateur THT ("Token Holding Timer") est initialisé avec l'avance ($THT = TTRT - TRT$). Chaque station a le droit d'émettre en classe de service asynchrone une quantité de données inférieure ou égale au THT.

En fait la classe de service asynchrone en mode non-restreint alloue de manière équitable entre toutes les stations la bande passante résiduelle, tout en tenant compte d'un certain nombre de niveaux de priorité. C'est le mode de fonctionnement naturelle du service asynchrone. Ces niveaux de priorité sont exprimés grâce à des valeurs temporelles, notées $T_PRI(n)$, qui forment des seuils vis-à-vis du THT. Il y a huit niveaux de priorité. Pour émettre des trames ayant un certain niveau de priorité m en classe de service asynchrone, il faut que l'avance (le THT) soit supérieur au seuil temporel de ce niveau ($T_PRI(m)$). Les niveaux les plus prioritaires ont donc les plus petits seuils, le plus élevé ayant toujours un seuil nul.

Le mode de fonctionnement restreint de la classe de service asynchrone autorise l'échange de données entre un groupe restreint de stations. Seules les stations du groupe peuvent avoir l'occasion d'utiliser la bande passante résiduelle, car le mode de fonctionnement restreint est exclusif du mode non-restreint. La gestion de ce groupe est de la responsabilité des entités protocolaires de plus haut niveau. Ce mode est optionnel.

Pour la classe de service synchrone, la réservation de la bande passante est contrôlée à travers le SMT. Il doit s'assurer que la somme des capacités de transmission synchrone plus le temps de propagation du jeton est inférieure au TTRT.

2.4.4. Conclusion

Nous venons de voir que le protocole FDDI propose une politique d'accès offrant de nombreuses possibilités. Cependant, seule la classe de service asynchrone en mode de fonctionnement non-restreint sans niveau de priorité est généralement utilisée. Il y a quelque temps, cependant une proposition d'une extension du protocole FDDI a été soumise. Cette extension, appelée FDDI-II, se proposait d'offrir un service de transmission isochrone. Par exemple, il devrait permettre d'assurer la transmission périodique d'information, comme la voix ou une vidéo numérisées. Les trames étaient émises régulièrement toutes les 125 μ s.

Si initialement le réseau FDDI devait utiliser des fibres optiques, depuis quelques temps sont apparues des solutions utilisant des paires torsadées, assurant ainsi un plus faible coût et autorisant la ré-utilisation d'un câblage pré-existant.

Une autre caractéristique du réseau FDDI est l'importance accordée à la fiabilité du réseau qui se traduit notamment par la redondance introduite par le double anneau contre-rotatif. Ce qui permet de reconfigurer l'anneau afin de contourner la liaison ou la station en panne sans obérer la connectivité du reste de l'anneau.

Les études de performance entreprises sur FDDI [Dykeman 87] montrent une bonne efficacité totale et une bonne répartition de la charge entre les différents niveaux de priorité.

IsoEnet propose d'ajouter aux 10 Mbit/s d'Ethernet un flux synchrone de 6 Mbit/s correspondant à 94 canaux B du RNIS. Une normalisation est en cours, poussée par IBM et National Semiconductor, sous la référence IEEE 802.9.

Il est actuellement proposé deux types d'Ethernet à 100 Mbit/s : Ethernet 100 Base T, et 100 VGAnyLan.

Pour l'essentiel, le premier type reprend le principe de fonctionnement d'Ethernet standard (notamment la méthode d'accès CSMA/CD, l'architecture) mais l'étendue du réseau est réduite (± 100 m) pour permettre l'augmentation du débit à 100 Mbit/s tout en conservant les autres valeurs caractéristiques. Notamment celles relatives à la taille minimale d'une trame, et la durée du "Slot Time" utilisé par l'algorithme de retransmission (BEB). On retrouve ici la contrainte, déjà exprimée, de maintenir la contenance du réseau pour conserver une bonne efficacité de la méthode d'accès. Cette proposition est en cours de discussion à l'intérieur du même groupe de travail de l'IEEE que celui qui a en charge Ethernet : l'IEEE 802.3. Ce qui montre un certain soucis de compatibilité. Elle est appuyée entre autre par Sun, AT&T, Dec, Cabletron, Intel, Microsoft, Novell, SynOptics et 3Com. Elle est proposée, au niveau physique, en deux versions de câblage : la première utilise 2 paires torsadées non blindées de catégorie 5, l'une en émission l'autre en réception en utilisant le codage proposé pour CDDI 4B/5B puis MLT-3 (3 Levels Multiline Transmission). La seconde utilise 4 paires de moins bonne catégorie (3, 4 ou 5) avec un codage 8B/6T, trois paires étant utilisées pour transmettre et 1 paire pour détecter les collisions.

Le second type est en fait basé sur une hiérarchie de noeuds centraux (faisant fonction de commutateurs) fonctionnant avec une méthode d'accès spécifique, appelée "polling round robin" ou "demand priority", dans laquelle après une phase d'apprentissage, un noeud père attend les demandes d'émission puis laisse parler successivement chacun de ses fils. Chaque paquet est alors directement aiguillé vers sa destination. Deux niveaux de priorité peuvent être associés au trafic. Le contrôle du TTT (Target Transmission Time) permet de garantir une borne supérieure au délai d'accès et un débit moyen. Un nouveau codage est utilisé (5B/6B) plus un embrouilleur (pour équilibrer les 0 et les 1), le format des trames Ethernet étant conservé, et l'étendue maximale étant d'environ 1 km. cette technologie est soutenue entre autre par AT&T, Hewlett Packard, IBM, Texas Instrument, Ungermann-Bass. Sa normalisation est en cours à l'IEEE sous la référence 802.12.

3.3. DQDB

3.3.1. Présentation

Le réseau DQDB utilise un double bus véhiculant des tranches de taille fixe. Initialement proposé par les laboratoires de recherche des télécommunications australiennes sous la dénomination QPSX, le réseau DQDB est normalisé depuis le début des années 90 à l'IEEE sous la référence 802.6.

Les stations du réseau sont connectées aux deux bus sur lesquels les tranches circulent en sens inverse. A une extrémité de chacun des deux bus, une station est chargée de la production régulière de tranches (vides). Les deux stations génératrices peuvent être mises côte à côte, le double bus étant alors placé en (double) anneau. La production de tranches peut ainsi être effectuée par n'importe quelle station du réseau munie de la fonctionnalité nécessaire.

Chaque station est connectée au deux bus via un point d'écriture et un point de lecture placé en amont du point d'écriture. Les noeuds observent le trafic circulant sur les bus : ils ne peuvent pas supprimer les tranches. Toutefois, si la méthode d'accès les y autorise, certains champs peuvent cependant être modifiés au vol. Le débit total peut atteindre le double de celui d'un seul bus.

Chaque trame consiste en un champ de contrôle d'accès (ACF : Access Control Field) et d'un segment contenant les données à échanger. Le premier bit de l'ACF (Busy) indique l'occupation de la tranche par des données. Le second bit (Slot type) définit deux sortes de tranches, celles préallouées (PA : Pre-arbitrated) et celles dont l'accès est géré par la méthode d'accès (Queue Arbitrated). Le bit suivant (PSR : Previous Segment Received) permet la réoccupation de la même tranche grâce au retrait du segment par le précédent récepteur. Finalement on trouve trois bits de réservation (Request bits) utilisés par la politique d'accès.

aurait autrement utilisées. Un compteur supplémentaire ("self-request counter") compte le nombre de tranches libres successives utilisées et dès que le compteur atteint une certaine borne la station doit laisser passer une tranche vide. Ce mécanisme de régulation apparaît très efficace pour empêcher les stations grosses consommatrices de s'approprier trop de la bande passante. Malheureusement le trafic prioritaire est retardé par ce mécanisme.

Depuis de nombreuses extensions sont proposées notamment afin d'offrir une garantie d'obtention d'une partie de la bande passante pour le trafic prioritaire avec une bonne efficacité.

3.4. CRMA

3.4.1. Présentation

Proposée par les laboratoires de recherche d'IBM, la méthode d'accès CRMA (Cyclic Reservation Multiple Access) a pour ambition de permettre d'atteindre les débits de quelques Gbit/s en s'appliquant aux étendues couvertes par les réseaux locaux (LAN : quelques kilomètres) et les réseaux métropolitains (MAN : plusieurs centaines de kilomètres). Elle utilise un anneau simple ou double. Les données sont transmises sous forme de cellules et une technique de tampon d'insertion ("buffer-insertion") est utilisée lorsque les données doivent être transmises dans des cellules successives ou lorsque un accès immédiat est sollicité.

Afin d'optimiser l'utilisation du réseau, les cellules peuvent être réutilisées. Elles sont libérées lorsqu'elles arrivent à leur station destinatrice. Ces cellules deviennent alors disponibles pour les stations situées en aval. Cette technique permet d'obtenir un débit total supérieur au débit nominal du réseau.

La méthode d'accès est contrôlée grâce à un simple mécanisme d'occupation/libération des cellules ("empty slot"), l'équité de la répartition des charges est améliorée grâce à un mécanisme basé sur la réservation. Ce permet d'obtenir des accès rapides quand le réseau est faiblement chargé, des accès équitables et un délai borné et calculé au plus juste quand la charge du réseau est soutenue. La politique d'accès s'adapte automatiquement aux demandes des stations, ce contrôle introduisant un surcoût minimum.

3.4.2. La méthode d'accès

Deux types de cellules sont distinguées : celles gratuites et celles réservées. Les cellules gratuites offrent un accès immédiat. Ce type d'accès est prépondérant à faible charge. Dès que la charge s'élève un mécanisme de réservation est mis en oeuvre. Il est basé sur trois étapes : réservation, répartition et confirmation.

Dans la phase de réservation, une station fonctionnant comme répartiteur de charge émet une cellule de réservation. Cette émission est effectuée grâce à la présence d'un tampon de réception chargé de mémoriser la cellule en cours de réception pendant l'émission de la cellule de réservation. Potentiellement, toute station peut être répartitrice, une seule étant active.

Les autres stations insèrent dans la cellule de réservation leurs paramètres de charge : le nombre de cellules déjà transmises et le nombre de cellules dont la transmission est demandée. Si la cellule de réservation est pleine, une cellule de réservation supplémentaire est ajoutée à la suite.

Lorsqu'elle reçoit sa cellule de réservation, la station de répartition mémorise l'ensemble des paramètres. Elle détruit sa cellule de réservation et ainsi libère le tampon de réception. De même, les cellules de réservation supplémentaires seront retirées par les stations les ayant insérées. A l'aide de l'ensemble des paramètres caractérisant la charge du réseau, le répartiteur calcule un seuil, exprimant un nombre de cellules. Ce seuil va permettre de freiner la consommation de cellules des stations ayant dépassées leur quota (grosses consommatrices ou peu prioritaires), et de réserver des cellules aux stations n'en ayant pas reçues assez. En fait, plusieurs seuils sont définis pour permettre des services de transmission plus ou moins prioritaires.

La station de répartition émet une cellule de confirmation faisant connaître à toutes les autres stations la valeur du seuil. Chaque station calcule elle-même son comportement. Si le seuil est plus élevé que le nombre de cellules consommées par la station, la station sait qu'elle peut capturer un nombre de cellules réservés égal à la différence entre le nombre de cellules demandées et le seuil. Si le nombre est moins élevé, la station sait qu'elle doit laisser passer un

5. Bibliographie

- M.Boisseau, M.Demange, J.M.Munier. Réseaux haut débit. Eyroles, 1992.
- A.Hoper, S.Temple. Local Area Network Design. International Computer Science Series, 1989.
- M.De Prycker. Asynchronous Transfer Mode. 2nd edition, Ellis Horwood, 1993.
- Kessler. Metropolitan Area Networks : concepts, standards and services. Mc Graw Hill, 1991.
- P.Mühlethaler. Protocoles d'accès pour réseaux à haut débit. Thèse de l'université de Paris IX, 1989.
- G.Pujolle, M.Schwartz. Réseaux locaux informatiques. 3^{ème} édition, Eyrolles, 1990.
- P.Rolin. Réseaux locaux : normes et protocoles. 4^{ème} édition, Hermès, 1991.
- A.Shah, G.Ramakrishnan. FDDI : a high speed network. Prentice Hall, 1993.
- W.Stallings. Local Networks. 3rd edition, Mac Millan, 1990.
- [Bux 1981] W.Bux. Local Area Sub-networks : a performance comparison. IEEE Transaction on Communication, vol COM-29, n°10, october 1981.
- [Kümmerle 1982] K.Kümmerle. Local Area Communication Networks : an overview. Struktur und Betrieb von rechenystemen, NTG-Fachberichte Band 80, VDE-verlag GmbH, Berlin, 1982.
- [Dykeman 87] D.Dykeman, W.Bux. an investigation of the FDDI Media Access Control Protocol. proceedings of EFOC/LAN 87, publié chez Information Gatekeepers Inc, 1989.
- [Hahne 91] E.Hahne, N.F.Maxemchuck. Fair access of multi-priority traffic to DQDB. proceedings of IEEE INFOCOM'91, Miami, 1991.

Et bien entendu : les normes IEEE 802.x et ANSI !

6. Un petit lexique des acronymes

- ANSI : American National Standard Institute
- CDDI : Copper Distributed Data Interface
- CRMA : Cyclic Reservation Multiple Access
- DQDB : Dual Queue Dual Bus
- ECMA : European Computer Manufacturers
- FDDI : Fiber Distributed Data Interface
- HDLC : High Data Link Control
- IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ISO : International Organization for Standardization
- LAN : Local Area Network
- LLC : Logical Link Control
- MAC : Medium Access Control
- MAN : Metropolitan Area Network
- RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services
- OSI : Open Systems Interconnection