

Multiplexage

2 - L'accès au bus : collisions et arbitrage

Quelques termes :

- On appellera 'Trame' l'ensemble des bits à transmettre. Cet ensemble contient les données utiles (objet de la transmission) accompagnées des informations nécessaires à leur bon acheminement : repère de début, usage, vérification et contrôle, repère de fin. Le tout est transcodé¹ dans la norme désirée (Manchester, Manchester comprimé ou Bit Stuffing). Les formats des protocoles VAN et CAN feront l'objet d'une prochaine Infotech.
- Les termes 'station' ou 'poste' désignent indifféremment un élément ('nœud') du réseau. D'une manière générale, 'poste' est plus adapté aux réseaux locaux (interconnexion de PC) alors que 'station' représente plus un élément d'un réseau embarqué en automobile.

Préambule

Les similitudes d'accès au bus entre les réseaux locaux (LAN = Local Area Network) et les réseaux VAN et CAN existent. Aussi, il paraît intéressant de partir du réseau local, d'analyser ses faiblesses (dans le cadre d'une application automobile) afin de mettre en évidence et de mieux comprendre les solutions apportées par les protocoles VAN et CAN.

La règle d'accès au bus

Un nœud ne peut commencer à émettre une trame que si le bus est libre (= la ligne physique est au repos) pendant un temps t qui est déterminé par le protocole. Une ligne au repos est caractérisée par un état logique '1' (présence de tension). Toutefois, cette règle n'interdit pas à deux nœuds (ou plus) d'initier une transmission au même instant (ou presque).

Dans ce cas il y a un conflit d'accès au bus qui va se traduire par une **collision** des trames.

Cette règle s'applique aux réseaux locaux de type 'Ethernet' et à nos réseaux VAN et CAN. Ce sont des réseaux de type 'CSMA'.

- CS = Carrier Sense, littéralement 'détection de porteuse'. Cela correspond au fait de s'assurer si le bus est occupé ou non avant d'initier une transmission.
- MA = Multiple Accés, à 'accès multiple' signifie qu'il n'y a pas de priorité d'accès au bus entre les nœuds.

Pour les amateurs d'analogie, on peut faire le parallèle avec une conversation polie entre gens polis :

- Une seule personne parle.
- On n'interrompt pas une personne qui parle.
- On ne prend la parole qu'après un silence significatif.

Ce qui, là non plus, n'empêche pas la collision d'exister, mais sa gestion relève de la courtoisie !

¹ Voir Infotech n°6 : le transcodage de la trame.

Gestion des collisions : la détection

Tout d'abord...

Pour un électricien il est certain qu'entre deux points d'un circuit les potentiels sont identiques en l'absence de circulation de courant. Ce raisonnement est tout à fait adapté aux systèmes électromécaniques présents, jusqu'à présent, dans les automobiles. Il va falloir changer cette vision des choses car aux fréquences auxquelles travaillent les bus, l'unité élémentaire d'information (le 'bit'), n'occupe qu'une partie de la ligne et se déplace sur cette ligne à une vitesse donnée (quel que soit son potentiel électrique représentatif d'un '0' ou d'un '1').

Quelques chiffres...

On se place dans le cadre d'un réseau local à 10Mbit/s sur une liaison de 500m entre deux postes. La vitesse de propagation de l'information est une constante, une fraction de C (vitesse de la lumière dans le vide), soit : 200 000 Km/s.

Dans ces circonstances, la durée d'un bit sur le câble est :

$$t_{\text{bit_câble}} = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 10^{-7} \text{ s}$$

et il occupe sur le câble une longueur de :

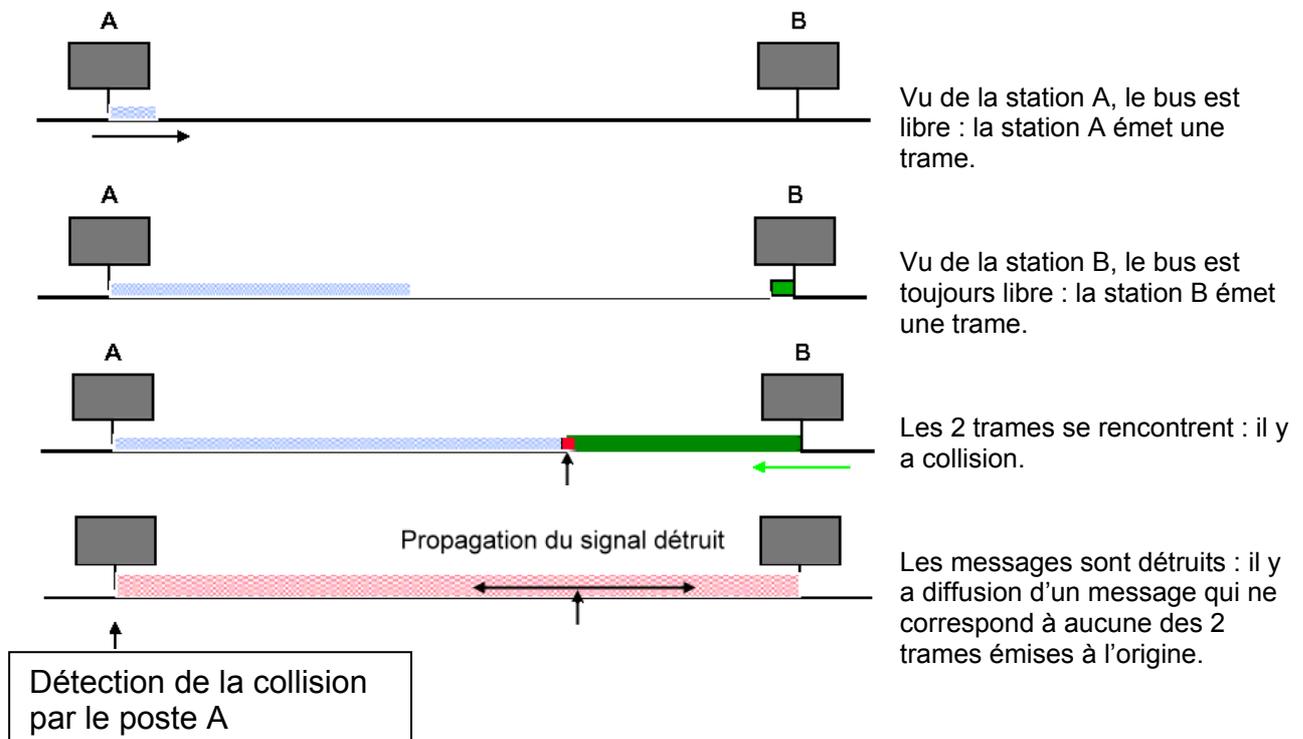
$$l_{\text{bit_câble}} = t_{\text{bit_câble}} \times v_{\text{propagation}}$$

$$l_{\text{bit_câble}} = 10^{-7} \cdot 200 \cdot 10^6 = 20\text{m}$$

tout en se déplaçant à 200 000 Km/s, ce qui se traduit par la présence de 25 bits sur les 500 mètres qui séparent les deux postes et par un trajet d'une durée de 2.5µs soit un temps de propagation de 5ns/m.

Ethernet : analyse d'une collision.

On pourrait représenter le mécanisme de la collision de la manière suivante :



La collision correspond à une destruction du signal par courts-circuits successifs entre des '0' et des '1'. Il devient illisible.

Si l'on considère le cas le plus défavorable, c'est-à-dire quand la collision a lieu un instant juste avant l'arrivée en 'B', il faudra au poste 'A' le temps nécessaire à un **aller-retour** (temps de propagation de la trame + temps de retour de propagation de la collision) pour s'apercevoir que la ligne est perturbée².

Les deux postes savent que la trame est détruite. Ils vont tenter une nouvelle émission, dès que le bus sera libre, en se décalant de manière aléatoire.

Ethernet est un réseau de type CSMA/CD.

- CD pour 'Collision Detection' ou 'à détection de collision'. En résumé la collision est connue et subie.

Ethernet et l'embarqué

Malgré un débit élevé un réseau de type CSMA/CD ne peut pas être adapté à l'embarqué, où l'on a besoin d'un fonctionnement apparenté au 'temps réel', et l'on comprend pourquoi !

- Le mécanisme de détection de collision ne garantit pas l'acheminement des données dans un délai compatible avec le fonctionnement des systèmes. D'autant plus que si le trafic est élevé, la probabilité de collision augmente. A cause de cela, on dit d'Ethernet qu'il est probabiliste. Dans les cas critiques on peut atteindre le blocage du réseau par saturation.
- Rien n'est prévu pour gérer des priorités dans les trames émises. Alors que dans une automobile il est évident que l'on doit pouvoir rendre prioritaire certains types de message (pour des raisons de sécurité par exemple). A cause de cela, on dit d'Ethernet qu'il n'est pas déterministe.

Gestion des collisions : l'évitement

Les réseaux VAN et CAN mettent en œuvre un processus d'évitement de collision ou, de collision non destructive (terme qui est plus approprié). Ils sont du type CSMA/CA.

- CA pour 'Collision Avoidance' ou 'à évitement de collision'.

L'évitement de collision repose sur deux principes :

- La relecture du bit.
- L'arbitrage au niveau du bit.

La relecture du bit

Une station qui émet (ou écrit) un bit le relit en permanence et s'assure donc à tous moments de la cohérence entre ce qui doit être écrit et ce qui est réellement écrit. Le principe consiste en l'écriture d'un bit d'une longueur au moins égale à la distance aller retour entre les deux stations les plus éloignées (cas le plus défavorable).

Scénario :

Etape 1 : la station A qui pose un bit sur le fil et qui ne le voit pas altéré pendant toute sa durée (le temps de l'aller et du retour), est en droit de croire qu'il n'y a pas eu de collision. Deux cas peuvent cependant se produire :

- La station A est la seule à écrire sur le bus, c'est le cas qui vient tout de suite à l'esprit.

² Ceci est une vue simplifiée du problème, car en fait il faudrait également comptabiliser tous les délais de transmission depuis le câble jusqu'au programme gérant la transmission. Ces délais sont souvent non négligeables par rapport au temps de propagation. Voir à la fin de la présente InfoTech.

- Une ou plusieurs autres stations écrivent également sur le bus, mais elles écrivent la même chose ! Il n'y a pas de conflit. La station A ne le sait pas et se croit seule.

Etape 2 : Cette station continue d'émettre sans encombre une succession de bits.

Etape 3 : La station A pose ensuite un '1' sur le bus. Avant la fin de l'émission de ce bit elle relit une valeur '0'. C'est un début de collision. Une seule solution :

- La station A cesse d'émettre, la collision est évitée. Il y a eu **arbitrage** au niveau de ce bit.

L'arbitrage au niveau du bit.

On appelle bit **dominant** un bit de valeur '0'³.

On appelle bit **récessif** un bit de valeur '1'.

La règle est simple et a été illustrée dans l'exemple précédent. En cas de collision, une station qui émet un bit dominant, gagne l'arbitrage et peut continuer à émettre, alors que celle qui émet un bit récessif, perd l'arbitrage et cesse d'émettre. Si les séquences de bit émises sont identiques, il n'y a pas de collision et donc pas de procédure d'arbitrage.

Les avantages apportés par l'évitement de collision

Le temps d'accès au réseau

Il est évidemment réduit puisqu'en l'absence de collisions réelles, on ne risque plus l'engorgement. Cependant le temps d'accès⁴ n'est pas garanti pour autant puisque la règle d'accès subsiste : il faut que le réseau soit libre pour pouvoir émettre. Le concepteur devra donc veiller à ne pas avoir un réseau trop chargé (en terme de trames/s) pour pouvoir garantir un temps d'accès raisonnable.

Détermination des priorités d'accès

On peut introduire une hiérarchie entre les stations (en cas de conflit d'accès uniquement) puisque c'est la première à poser un bit dominant qui conservera l'accès. Il suffit alors au concepteur d'organiser le contenu des trames pour privilégier ou non certaines stations par rapport à d'autres.

Intervention à 'la volée'

On verra, en abordant la structure des trames, qu'il va être possible à une station d'intervenir dans la trame d'une autre station pour, par exemple, fournir une réponse ou acquitter une réception. Tout cela sans perturber la trame et en appliquant simplement le processus d'arbitrage.

Les contraintes apportées par l'évitement de collision

Elles sont inhérentes au principe même. On veut que le bit ait une longueur supérieure à deux fois la distance séparant les 2 stations les plus éloignées. Si on veut un temps de bit court (donc un débit élevé), la longueur du bit sera faible. La contrainte se situera alors au niveau de la longueur du réseau.

Débit élevé → petit réseau.

Et inversement, si l'on souhaite un réseau étendu, il faudra réduire le débit.

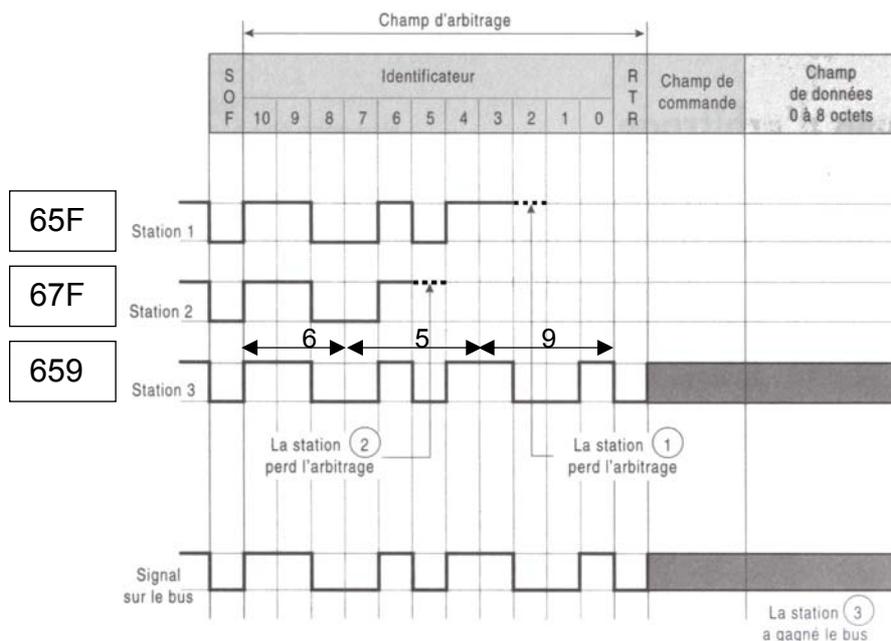
³ Parce qu'il est évident que le court circuit (0 Volt) aura toujours une priorité sur la présence de tension.

⁴ Le temps d'accès est le délai entre la demande d'accès de la station (partie logicielle) et son accès effectif (écriture de la trame sur le câble).

Pour les amateurs de détails nous établirons un peu plus loin une relation réaliste entre le débit (temps de bit) et la longueur utile du réseau.

Vu à l'oscillo...

Un petit exemple, en CAN, pour illustrer ce phénomène de collision non destructive. Soient 3 stations : Station1, Station2 et Station3. Les trames commencent par un champ d'identification, sur 11 bits, et ils ont pour valeurs respectives 65F, 67F et 659 en hexadécimal.



Il apparaît clairement, au fil des pertes d'arbitrages successives, que c'est la station dont l'identificateur possède la valeur la plus faible (décimal ou hexadécimal) qui gagne l'arbitrage. On voit donc clairement comment le constructeur peut mettre en place une stratégie de gestion des priorités au travers de la messagerie⁵. Attention ces règles ne s'appliquent qu'en cas de conflit.

En ce qui concerne le signal sur le bus, il est idéalisé par rapport à celui réellement visible à l'oscilloscope. En fait il s'agit du seul signal visible et l'on ne perçoit rien de l'arbitrage qui a eu lieu, ni même s'il y en a eu un !

Particularités VAN/CAN

Les principes de collisions non destructives sont strictement identiques dans les deux protocoles, que ce soit tant au niveau de la relecture du bit (durée et longueur du bit) qu'à celui de l'arbitrage (dominant/récessif).

La différence réside uniquement dans la zone réservée à l'arbitrage.

- En CAN il s'agit d'une zone qui comporte le champ d'identification plus un bit (RTR), soit 12 bits au total.
- En VAN l'arbitrage s'exerce sur tous les champs à l'exception du champ de contrôle.

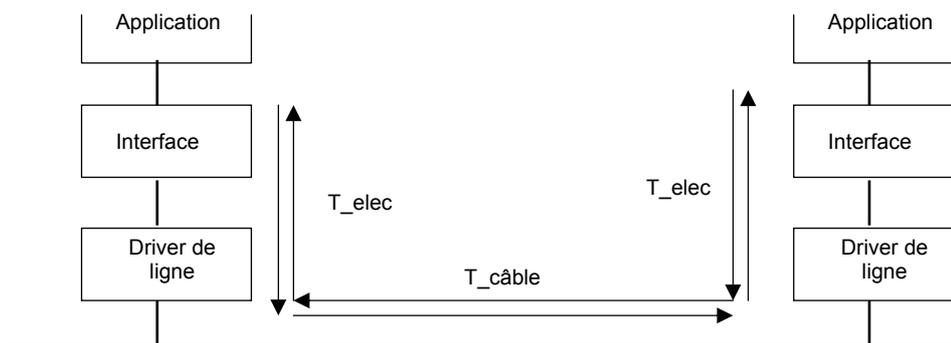
⁵ La messagerie est déterminée par le constructeur. Elle définit la signification des données contenues dans les trames. C'est là que s'exprime le savoir-faire du constructeur en termes de pertinence des contenus mais également au niveau des périodes d'émission des messages. La période d'émission constitue également un moyen pour accorder une priorité en dehors des collisions.

Relation durée du bit/longueur du réseau.

La durée effective d'un bit (bit_time) dépend de plusieurs paramètres :

- La durée de transfert sur le câble, qui dépend uniquement des vitesses de propagation des supports employés. Identique pour le cuivre et la fibre optique elle est évaluée à 200 000 Km/s.
- La durée de transfert due aux délais imposés par les interfaces entre la partie applicative (le logiciel qui demande une transmission) et le câble. Ce sont des délais propres aux composants d'interfaces (de l'ordre de 50 ns).

La somme de ces deux paramètres $t_{\text{câble}}$, et t_{elec} constitue le temps de propagation t_{prop} .



$T_{\text{prop}} = (T_{\text{elec}} + T_{\text{câble}} + T_{\text{elec}}) \times 2$ pour un aller retour

Ceci pourrait être considéré comme un temps de bit minimal, mais, pour prendre en compte les problèmes liés à l'instant d'échantillonnage et ceux liés aux corrections de dérive d'horloge, T_{prop} est augmenté d'un 'tampon' équivalent à 50% (valeur courante) de T_{prop} .

$$T_{\text{bit}} = 1.5 \times T_{\text{prop}}^6$$

Une petite application...

Recherchons la longueur maximale (entre les stations les plus éloignées) que peut supporter un réseau CAN réglé à un débit de 1Mbit/s.

Le time bit est connu. Il dérive directement du débit :

$$t_{\text{bit}} = \frac{1}{10^6} = 10^{-6} \text{ s} = 1000 \text{ ns}$$

Le délai électronique est connu :

$$t_{\text{elec}} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 50 \text{ ns}$$

Le temps de propagation :

$$t_{\text{prop}} = \frac{t_{\text{bit}}}{1.5} = 666 \text{ ns}$$

La durée de l'aller retour de transfert sur le câble :

$$2(t_{\text{câble}}) = t_{\text{prop}} - 4(t_{\text{elec}})$$

$$2(t_{\text{câble}}) = 666 - 200 = 466 \text{ ns}$$

⁶ Il ne s'agit que d'une estimation représentative des valeurs employées les plus courantes. Pour plus de précision sur la détermination du bit_time, il faut consulter l'ouvrage « Le bus CAN » de Dominique Paret chez Dunod.

Soit pour un aller simple : 233ns

Avec une vitesse de propagation de 5ns/m, on trouve une distance

$$L = \frac{233}{5} \approx 46\text{m}$$

Grâce à cette relation on pourrait facilement explorer le champ Débit/Distance d'un réseau CAN.