

Info Tech n°16

MULTIPLEXAGE

4- Le bus CAN

La société Robert BOSCH GmbH est à l'origine de la conception du bus CAN. Le CAN est un réseau de terrain (ou réseau embarqué) qui occupe aujourd'hui une position de leader sur le marché automobile, surtout depuis que PSA a abandonné le VAN avec la sortie de la 407.

Le CAN est également très répandu dans les mondes du véhicule industriel (« Trucks & Buses ») et du matériel agricole.

Il existe également de nombreuses applications du CAN dans le domaine de la production industrielle soutenues et promues par différents consortiums (Can In Automation, Device Net, SDS, Can Open ...)

Dans l'automobile, on rencontre deux différentes « moutures » du CAN : le CAN HighSpeed (CAN HS) et le CAN LowSpeed (CAN LS).

Préambule : D'une manière générale, tout ce qui sera dit à propos du CAN s'appliquera indifféremment aux deux versions (HS et LS) sauf mentions. Les spécificités propres à la version LowSpeed viendront à la fin de cette Infotech.

Les principes de transcodage, d'arbitrage et d'évitement de collision ont été vus dans les Infotech n° 6 et n°8.

Format de la trame

Il existe deux formats de trame (HS uniquement) correspondant respectivement aux versions 2.0A et 2.0B du protocole. La version 2.0B utilise des identificateurs dont la taille est portée à 29 bits au lieu de 11 pour la version 2.0A

La version 2.0B accepte donc un nombre plus important d'identificateurs différents et elle est plutôt réservée aux marchés du type 'Buses & Trucks', agricoles où les messageries sont normalisées et partagées par de nombreux équipementiers. Ce n'est pas le cas dans le milieu automobile où chaque constructeur développe sa propre messagerie.

Ce document ne traitera que de la version standard : le CAN 2.0A.

Une trame CAN est composée de 8 champs.

IFS	SOF	Arbitrage	Com	Data	Contrôle	ACK	EOD
-----	-----	-----------	-----	------	----------	-----	-----

- **IFS = Inter Frame Space.** Champ inter-trame qui comprend un minimum de 3 bits récessifs¹. Cette valeur peut être supérieure pour augmenter le temps de bus libre pour favoriser l'accès à des stations moins performantes, elle peut être également augmentée par une station douteuse (voir plus loin le § Traitement des Erreurs) afin de la défavoriser dans son accès au bus.
- **SOF=Start Of Frame.** Début de trame. Il est réduit à sa plus simple expression : 1 bit dominant qui peut apparaître dès la fin de l'IFS. Il sert de synchronisation pour toutes les stations.
- **Arbitrage.** Le champ d'arbitrage contient deux données :
 - l'identificateur sur 11 bits (CAN 2.0A)
 - le bit RTR(Remote Transmission Request)

Contrairement au VAN, l'arbitrage n'est pas effectué sur toute la trame. Il est limité aux 12 bits du champ arbitrage. Au delà de cette zone, l'évitement de collision n'est plus géré et, au cas peu probable où la collision survienne, elle devient destructive. La valeur de l'identificateur est donc stratégique dans la distribution des priorités entre les différents noeuds du réseau.

En général, l'identificateur ne sera pas assimilé à l'adresse physique d'un composant, mais plutôt à une fonction système dont la localisation géographique (contrôle moteur, ABS, suspension...) n'est pas forcément connue. Cela permet d'instaurer des priorités au niveau des fonctions. Ceci s'accorde particulièrement bien avec le fait que le CAN est généralement organisé sur un modèle **multi-maître** par opposition au VAN qui était le plus souvent dans un schéma maître-esclave (ou question-réponse), ce qui induit davantage la notion de localisation physique du composant.

Si le bit **RTR** est dominant, alors il s'agit d'une trame de données et le champ Data existe. Dans le cas contraire, il s'agit d'une trame de requête et le champ Data est inexistant. A même identificateur, la priorité sera naturellement accordée à la trame de données. Contrairement au VAN, le bit **RTR** ne met pas en oeuvre de mécanisme de réponse dans la trame. Cette possibilité est inexistante en CAN.

- **Com.** Ici aussi, bien que portant le même nom, ce champ n'a pas la même fonction que dans le VAN. Il ne participe pas à la gestion des échanges. Il comporte 6 bits dont les 2 premiers ne sont pas utilisés (toujours récessifs) en CAN 2.0A. Les 4 suivants représentent le **DLC** (Data Length Code) : nombre d'octets présents dans le champ Data.
- **Data.** Champ de données limité à 8 octets. Remarque : le DLC est codé sur 4 bits qui autorisent 16 combinaisons [0,15] alors que 3 bits suffisent à coder 8 combinaisons [0,7]. Or les valeurs du DLC vont de 1 = 0001₍₂₎ à 8 = 1000₍₂₎. Attention donc aux combinaisons supérieures à 1000₍₂₎ qui ne sont pas valides.
- **Contrôle.** Le champ de contrôle est composé de 2 données :
 - le CRC
 - le délimiteur de CRC (1 bit récessif)

Le CRC (Contrôle de Redondance Cyclique) est en fait le reste de la division d'un polynôme binaire par un autre polynôme appelé générateur polynômial. Ce générateur est un polynôme de degré 15 qui a été choisi pour sa qualité puisque la probabilité de ne pas détecter 6 bits erronés serait de 2^{-15} . Le générateur est connu de tous les noeuds du

¹ Voir l'infotech n°8 page 4

réseau. Le polynôme à diviser, $P(X)$, est de degré variable puisqu'il est composé de la suite des champs Arbitrage, Com et Data.

Le générateur $G(X)$: $X^{15}+X^{14}+X^{10}+X^8+X^7+X^4+X^3+1$

soit : 1100010110011001₍₂₎

- **ACK=ACKnowledge**. C'est le champ d'acquittement et il est composé de 2 bits :
 - le bit d'acquittement proprement dit
 - 1 : Non acquité
 - 0 : Acquité
 - un délimiteur d'acquittement (1 bit récessif)

Contrairement au VAN, l'acquittement est obligatoire et tous les noeuds du réseau, qu'ils soient ou non destinataires du message, doivent acquitter la trame.

Un noeud, ou station, qui détecte une erreur (sur le CRC par ex.) n'acquittera pas la trame et déclenchera un mécanisme de traitement d'erreur qui conduit à la **destruction** de la trame.

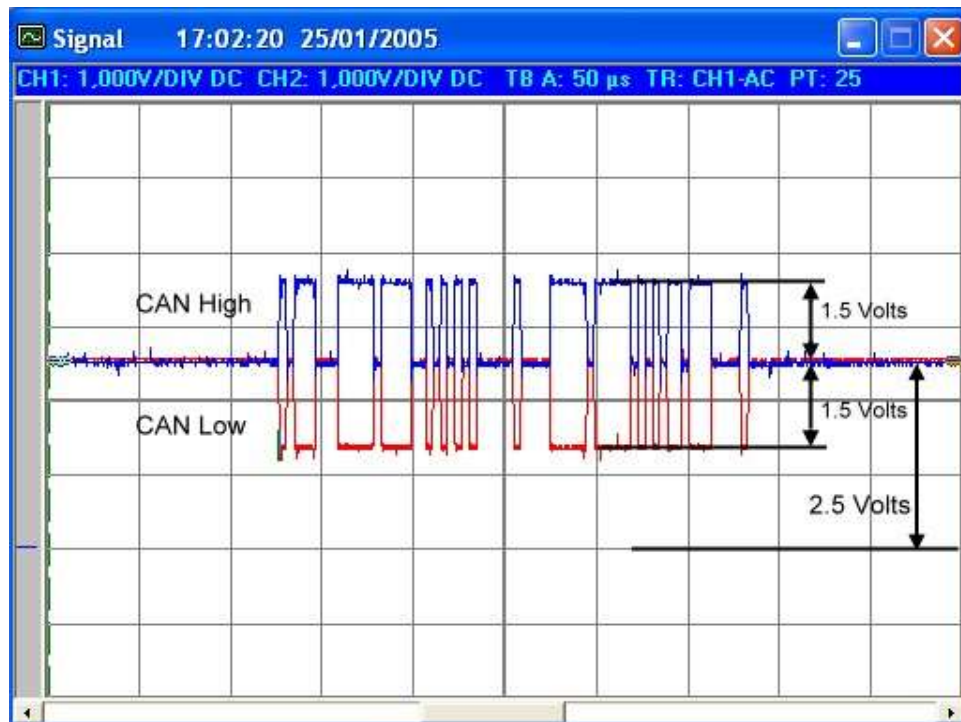
Plusieurs remarques s'imposent immédiatement :

- Si une station acquitte la trame, un bit **ACK** dominant est posé. Toute autre station qui serait en désaccord avec ce jugement ne peut en aucun cas forcer ce bit à 1 (impossibilité électrique), donc elle détruit la trame (en produisant une trame d'erreur)!
- La présence d'un acquittement ne permet pas d'affirmer que le destinataire a bien reçu la trame car il peut être temporairement déconnecté du réseau (voir plus loin traitement des erreurs). Il se peut même qu'aucun noeud ne soit concerné par le message. L'acquittement est simplement la preuve que la trame qui circule est valide, et qu'au moins un noeud a validé cette structure physique.
- Il ne s'agit plus d'une relation point à point (maître-esclave) comme pour le VAN, il faudra donc trouver une autre forme d'acquittement si l'on veut s'assurer que le destinataire a bien reçu le message et qu'il l'a **compris**.
- **EOD=End Of Data**. C'est le délimiteur de fin de données. Il est composé de 7 bits récessifs.

Caractéristiques physiques

Les signaux

Bien que le support puisse être varié (fibre optique, monofilaire, modulation de fréquence, courant porteur, etc...), c'est le mode bifilaire sur paire torsadée qui a été retenu par l'industrie automobile. La trace d'oscilloscope ci-dessous met en évidence les caractéristiques électriques des signaux :



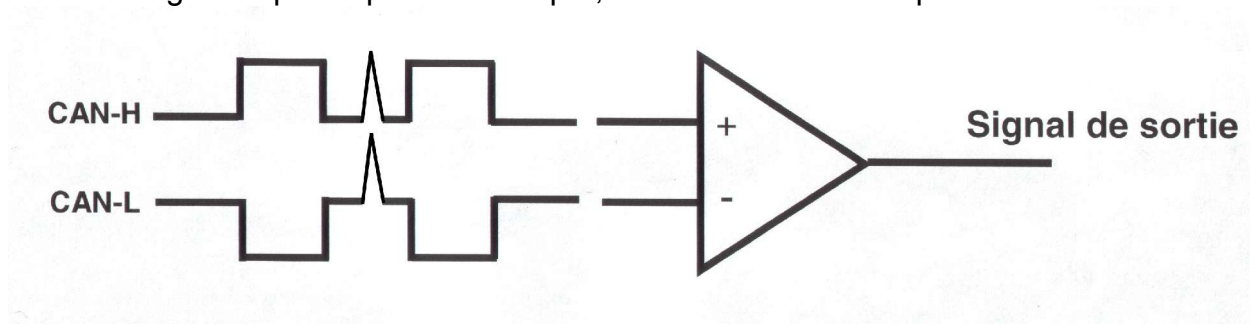
L'information est véhiculée sur deux lignes (CAN H et CAN L) symétriques autour d'une référence à 2.5 Volts. Les niveaux récessifs/dominants sont lus sur CAN L (la trace rouge). Les deux signaux vus ensemble permettent l'interprétation suivante :

- un ventre = bit dominant
- un noeud = bit récessif.

Les débits autorisés vont jusqu'à 1Mbit/s. On trouve couramment des valeurs de 250 Kbit/s et depuis peu des débits de 500 Kbit/s. Ces débits ont une répercussion évidente sur la longueur maximale du réseau²

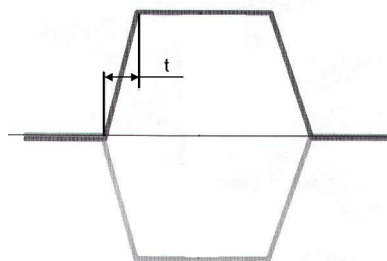
Deux éléments ont une incidence directe sur la qualité du signal (réduction des perturbations émises et reçues) :

- la lecture en mode différentiel : permet de s'affranchir de l'altération du signal par la superposition d'un parasite. Le même parasite apparaît nécessairement sur les deux lignes à la fois car elles se situent dans le même environnement. C'est la différence des signaux qui est prise en compte, donc le résultat n'est pas altéré.

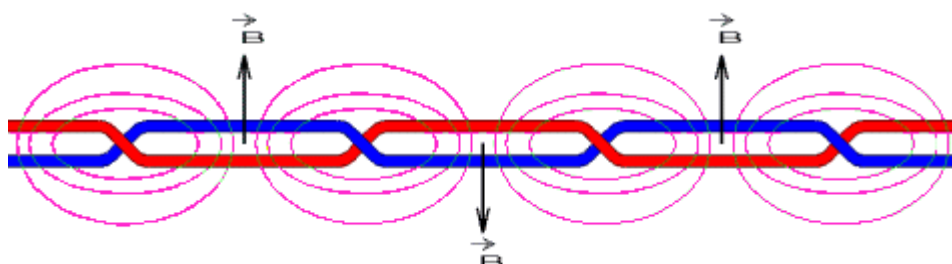


- les changements de niveau du signal sont des sources d'émissions électro magnétiques. Plus le changement de niveau (dominant vers récessif et

réciroquement) est rapide, plus la dissipation énergétique est importante. Chaque constructeur détermine les temps de montée et de descente en fonction des performances de CEM (Compatibilité Electro Magnétique) souhaitées. Du fait de la lecture en mode différentiel, les pentes introduites doivent être parfaitement symétriques. Valeurs courantes de t : de 20 à 80 ns.



- l'utilisation de paires torsadées permet de s'affranchir des émissions du câble en inversant à chaque torsade les vecteurs induction produits, ce qui les annule deux à deux. Elle permet également de réduire les perturbations extérieures en annulant par opposition les courants induits dans chaque boucle par un champ perturbateur.



- Des résistances de terminaison (typiquement 120 Ω) sont nécessaires pour éviter les 'rebonds'³ du signal en fin de câble

La topologie

Elle peut être qualifiée de 'rigide'. En effet, il faut respecter des dérivations très courtes sur le réseau (< 1m) sous peine de perturbations sévères (Attention aux branchements d'appareils supplémentaires : mesure ou autres ...). Le minimum entre deux noeuds consécutifs doit être de 10cm. Certains appareils intègrent le raccordement au réseau et les résistances de terminaison pour ceux qui sont en extrémité.



Analyse d'une trame

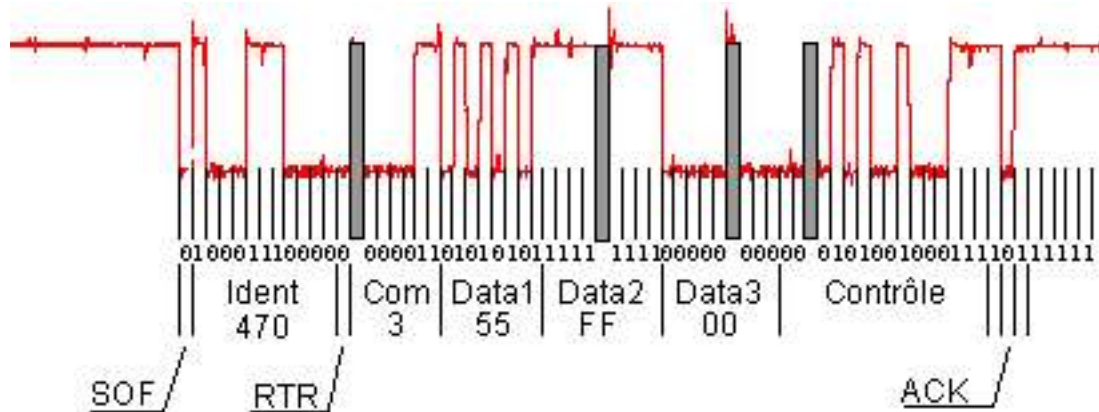
La trame précédente, relevée à l'oscilloscope, a été émise à une vitesse de 250 Kbit/s, ce qui donne un temps de bit de 4 μ s. On isole le signal CAN Low qui donne une représentation conforme des bits dominants et récessifs.

La première opération consiste à repérer, puis supprimer, les bits de 'stuff'⁴ (en gris sur la figure ci-dessous).

³ Voir « Bibliographie et ressources » à la fin de cette Infotech

⁴ Infotech n°6 page 4

On procède ensuite à l'identification des champs et à l'interprétation de leurs valeurs en hexadécimal.



Détermination du CRC

C'est une opération qui est plus aisée qu'en VAN, bien que fastidieuse. Il faut tout d'abord déterminer $P(X)$. Il est composé des champs Identificateur, RTR, Com et Data mis bout à bout. Le bit de start (SOF) n'est pas pris dans le polynôme. On obtient ceci :

100011100000000011010101011111111100000000

On rajoute ensuite autant de 0 que le degré de $G(X)$, donc 15. En fait, c'est comme si l'on rajoutait un CRC de valeur initiale à 0. On ajoutera ensuite le reste de la division à $P(X)$ pour simplifier l'opération de décodage effectuée à la réception. En effet, si on divise $P(X) + \text{Reste}$ par $G(X)$, le reste vaudra 0, ce qui sera un indicateur commode de validation. Dans ce type d'opération, on ne prend pas en compte la valeur du quotient.

Il faut ensuite 'poser' la division.

Au premier groupe de 15 bits rencontré (identificateur + RTR + 1 partie de Com (0000)) il faut soustraire $G(X)$. C'est une soustraction qui ne propage pas les retenues. Donc :

$$0-0=0$$

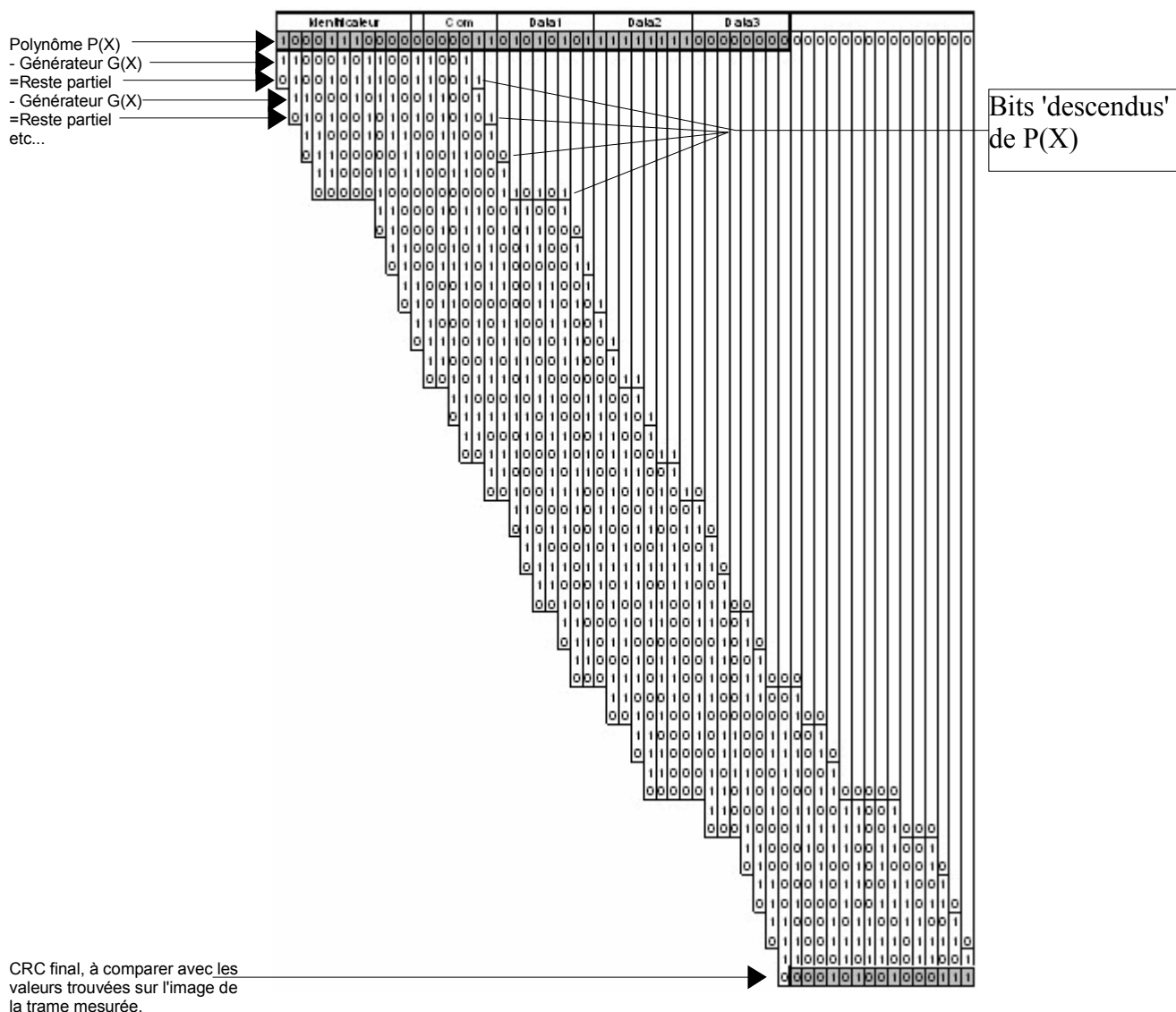
$$1-0=1$$

$$0-1=1 \text{ avec une retenue de 1 sur le bit suivant, non prise en compte}$$

$$1-1=0 \text{ avec une retenue de 1 sur le bit suivant, non prise en compte}$$

On remarque qu'il s'agit en fait d'appliquer un OU Exclusif entre les deux valeurs à soustraire.

Détails des opérations :



Traitement des erreurs

Les types d'erreurs rencontrés

- L'erreur de bit : le bit relu n'est pas le bit posé sur le bus, sauf pendant le champ d'arbitrage et le champ d'acquittement lorsqu'un bit dominant est relu à la place d'un bit récessif (c'est peut-être une perte d'arbitrage). Dans la même catégorie, on trouve l'erreur de bit stuffing. On verra un peu plus loin que cela peut être une action volontaire.
- L'erreur de CRC ou d'ACK. Le champ CRC n'est pas conforme à ce qu'il devrait être. Un émetteur ne lit pas de bit dominant pour l'acquittement.
- Viol de structure de trame, au niveau des différents délimiteurs (absence ou mauvaise valeur), au niveau des espaces inter-trame.

Dans tous les cas, ces événements débouchent sur la production d'une trame d'erreur.

Les compteurs d'erreurs

Chaque nœud possède deux compteurs, un en réception (TEC : Transmission Error Counter) et un en émission (REC : Reception Error Counter).

- Lorsqu'un récepteur détecte une erreur, son REC est augmenté de 1.
- Lorsqu'un transmetteur envoie une trame d'erreur, son TEC est augmenté de 8.
- Après une transmission réussie, le TEC est diminué de 1.
- Après une réception réussie, le REC est diminué de 1.

On note que l'erreur est davantage pénalisée que la réussite.

En fonction de la valeur de ces compteurs, on pourra minimiser l'influence d'un noeud, voire le déconnecter du réseau en fonction de son niveau de perturbation. Ce sont les règles de confinement.

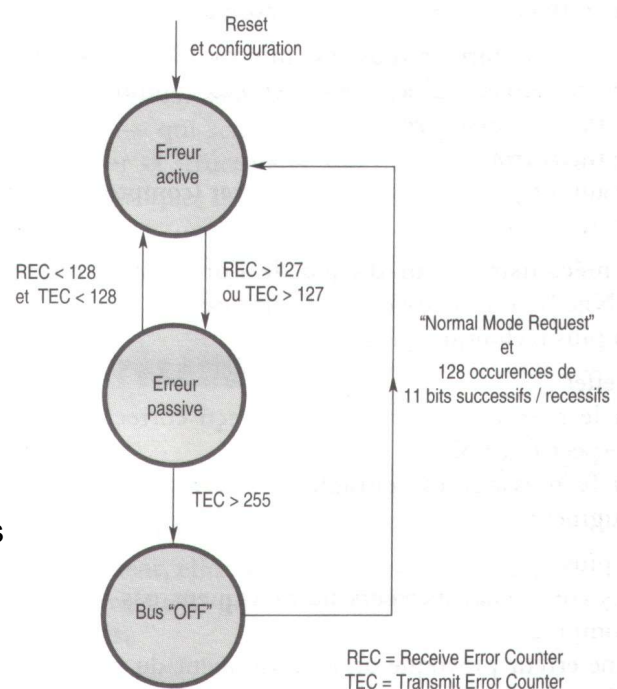
Les règles de confinement

Elles sont dictées par les valeurs atteintes par les compteurs et définissent les trois modes qu'un noeud peut atteindre.

Lorsque les deux compteurs sont inférieurs à 128, les noeuds sont dits 'Error Active'. Ils sont en bonne santé et aptes à générer des trames 'erreur active'.

Entre 127 et 255 les noeuds sont en mode 'Error passiv'. Le niveau de confiance accordé est faible. Ils ne peuvent générer que des trames 'erreur passive'.

Arrivé à la valeur 255, le noeud est déconnecté du bus. Il est 'Bus off'. Il reste dans cet état jusqu'à ce que sa partie applicative (le programme qui gère ce noeud) décide de le remettre en service. Cette remise en service n'est pas immédiate. Il doit être capable de compter 128 zones de 11 bits récessifs (essentiellement des espaces inter-trames) avant d'être déclaré 'apte'. Dans ce cas ses compteurs sont remis à zéro.

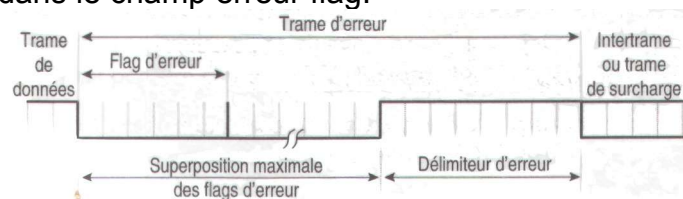


Les trames d'erreurs

La trame d'erreur active est composée de 2 champs

- le drapeau d'erreur ou erreur flag, 6 bits dominants
- Le délimiteur d'erreur, 8 bits récessifs

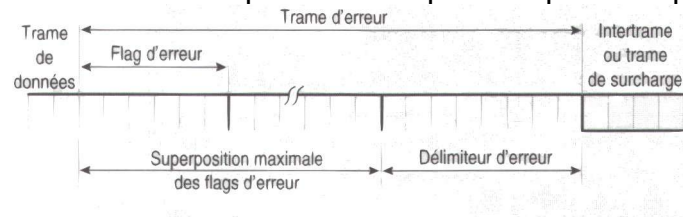
Ces 6 bits dominants consécutifs constituent une violation flagrante du bit stuffing. Cette erreur est détectée par les autres stations qui génèrent d'autres trames d'erreur. C'est un phénomène de destruction en série des trames. Le protocole CAN limite cette 'avalanche' à 12 bits dominants dans le champ erreur flag.



La trame d'erreur passive est également composée de 2 champs

- le drapeau d'erreur ou erreur flag, 6 bits récessifs
- Le délimiteur d'erreur, 8 bits récessifs

La présence de bits récessifs dans l'erreur flag change le comportement des participants. On peut l'interpréter de la manière suivante : le noeud 'douteux' est obligé d'attendre au moins 14 bits récessifs consécutifs avant de tenter une ré-émission de son message. Il a de fortes chances de perdre l'arbitrage de bus pendant cet intervalle au profit d'un autre noeud. C'est une perte de confiance qui se traduit par une perte de priorité.



Les principales caractéristiques du CAN LowSpeed

Les principales différences

Comme son nom l'indique clairement, il s'agit d'une version basse vitesse du CAN. Son intérêt principal réside évidemment ailleurs. Là où le CAN HighSpeed n'a aucune tolérance à la panne (toute coupure d'une ligne ou tout court-circuit met le réseau hors d'usage), le CAN LowSpeed est un système à tolérance de panne (Fault Tolerant). Ces caractéristiques le rapprochent du VAN.

Comme le VAN, il possède en plus des modes de veille et de réveil qui font également défaut à la version HighSpeed du CAN. Ces modes permettent de réduire sa consommation en période d'inactivité (15µA env) et le rendent apte (du point de vue de PSA) à une utilisation sur des bus Confort ou Carrosserie en remplacement du VAN. La capacité du champ Data reste limitée à 8 octets, ce qui peut paraître faible pour de telles applications. La solution semble être dans la segmentation des messages en plusieurs trames. C'est quelque chose d'assez similaire à ce qui se passe sur un réseau local (Ethernet) où de grosses quantités de données sont réparties sur plusieurs trames.

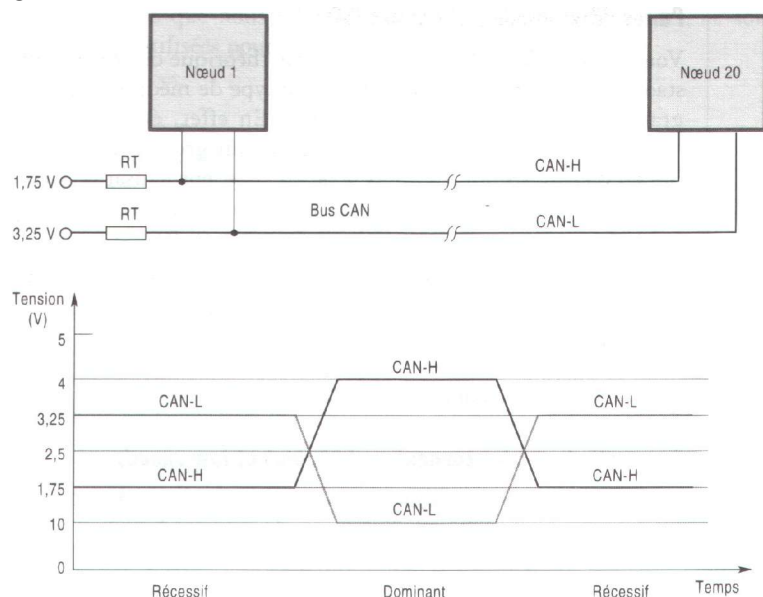
Les débits vont de 40 à 125 Kbits/s

La topologie est moins restrictive, la distribution en étoile est possible sans les contraintes de longueurs de connexion de la version HighSpeed.

Les valeurs des résistances de terminaison sont moins critiques (aux alentours de 2KΩ).

Les signaux

Voir ci-contre :



Bibliographie et ressources

Pour terminer cette série sur les réseaux embarqués dans les automobiles, quelques références qui m'ont été précieuses :

En librairie :

Le Bus VAN de Joël Malville et Bruno Abou chez Dunod

Le Bus CAN de Dominique Paret chez Dunod (apparemment indisponible).

Pour le matériel qui permet de dialoguer avec les systèmes :

- La société NSI
Parc des Glaisins
6 avenue du pré de Challes
BP 350
74943 Annecy le vieux Cedex

fournit tout le matériel nécessaire à la mise en oeuvre des bus CAN et VAN, que ce soit sur véhicules ou pour monter des TP. Ils distribuent également le 'CanAlyzer' un produit d'analyse et d'expérimentation très sophistiqué du constructeur allemand Vektor.

- La société Exxotest
Z.A Les Marais
74410 Saint Jorioz

fournit également tout le matériel nécessaire à la mise en oeuvre des bus CAN et VAN. Cette société fournit également des produits didactiques sur ces supports.

ATTENTION, dans tous les cas, l'utilisateur final doit se procurer les messageries constructeur pour pouvoir utiliser pleinement ces produits sur des véhicules. Cette acquisition n'est pas possible à ma connaissance. Toutefois, en effectuant quelques mesures, on peut assez facilement faire des corrélations entre les valeurs lues sur les trames et certains paramètres moteur faciles à faire évoluer (comme un régime moteur, une vitesse véhicule ou une température) ou d'autres paramètres disponibles sur les outils de diagnostic du constructeur (comme le couple moteur ou l'état de certains récepteurs).

Sur le Web :

<http://www.ta-formation.com/cours-lignes/ligne-reflexion/reflexion.htm> pour quelques explications très visuelles sur les rebonds de signaux.

<http://www.dunod.com> pour les livres.

<http://www.nsi.fr> pour la société NSI.

<http://www.annecy-elec.fr> pour la société Exxotest.

<http://www.can-cia.org/> le site de Can in Automation.

Pour plus d'informations sur les CRC :

<http://docs.sylvain-nahas.com/crc.html>

<http://www.cours-info.net/?page=cours&type=2&stype=0&article=7>

Quelques travaux personnels très intéressants :

<http://www.oberle.org/can-can.html#1363>

http://www.enseirb.fr/~kadionik/formation/canbus/canbus.html#_Toc425501292

http://www.geea.org/article.php3?id_article=183&men=rub