

INTRODUCTION

C'est quand même un comble que d'employer le mot « parallèle » dans un ouvrage dans lequel on ne parle que de liaisons séries, mais il est vrai qu'en parallèle des CAN, LIN et FlexRay, de nombreux autres protocoles de communication de type « série » ont vu le jour.

En complément des protocoles CAN HS, LS, LSFT, FD, nous allons consacrer plusieurs chapitres pour vous présenter d'autres grandes familles de protocoles et d'autres amis du CAN. Ils sont utilisés dans le monde des réseaux multiplexés « embarqués », que l'on rencontre dans les marchés automobile, aéronautique et industriel, et qui ont toujours des relations plus ou moins proches avec le CAN. Ces autres liaisons séries sont dédiées à des applications de transport de données à débits soit plus lents, soit généralement plus rapides que le CAN. Il s'agit par exemple de transport de données numériques, de communications à hauts débits, de liaisons audio, vidéo, d'aide à la navigation, de sécurité, etc.

Afin de s'y retrouver, nous avons décomposé ces nouveaux venus en deux grands groupes : ceux dont les liaisons sont assurées par des éléments filaires « câblés » et ceux dont les liaisons sont assurées à l'aide de propagations d'ondes radiofréquences, bien connues en anglais sous le vocable de *wireless*. Les plus en vogue ont pour noms :

– en technologies « câblées » :

- LIN,
- TTCAN,
- FlexRay,
- *Safe-by-Wire*, IP5
- I2C/D2B (ancien),
- MOST,
- IEEE 1394,
- Ethernet automobile,
- CPL (*powerline*);

– en technologies *wireless* :

- Bluetooth,
- ZigBee,
- IEEE 802.11,
- NFC,
- RKE, PKE, *Passive Go*,
- TPMS,

- TiD,
- etc.

Bien évidemment, chacun d'entre eux possède ses spécificités liées à son débit, sa distance de fonctionnement, ses possibilités, ses performances, son coût, etc. Ainsi, il est plus adapté à telle ou telle application. Le fin du fin serait bien sûr d'établir un tableau regroupant leurs principales propriétés sans aucun *a priori*, afin que chacun puisse trouver son bonheur selon ses besoins. Hélas, ce tableau n'est pas simple à réaliser, car il doit comporter de très nombreuses rubriques, car faute de renseignement sur un critère ou un autre, on risque de passer à côté du bon choix. Afin de vous aider à établir ce tableau selon vos propres critères, nous allons tout d'abord décrire rapidement avec le plus de détails possible les propriétés intrinsèques de chacun.

Pour des raisons évidentes de facilité et de compréhension, nous avons utilisé comme fil rouge des exemples d'applications liées au marché automobile. Nous continuerons à utiliser celui-ci comme support des exemples, mais en élargissant systématiquement à d'autres domaines leurs champs d'applications.

Partant de cela, et sachant que le probable *e-vehicule* (véhicule électronique) de demain sera simultanément conçu pour être un outil pour se déplacer confortablement et en toute sécurité, une annexe de la maison et une annexe du bureau, entrons dans le vif du sujet concernant les systèmes multiplexés embarqués, leur fonctionnement et leurs applications multiples. Pour cela, imaginons l'ampleur du champ d'application de ces concepts en imaginant le devenir futuriste, et néanmoins très réaliste, d'un véhicule automobile.

Sur le principe, la fonction principale d'un véhicule automobile est de se déplacer, confortablement, et en toute sécurité. Ceci inclut :

- la motorisation,
- le freinage,
- la suspension,
- la gestion de l'habitacle : accès sécurisé (portières, coffre, etc.),
- le confort : unité de climatisation, réglage des sièges,
- la protection active/passive : *air bag*, etc.,
- la télématique,
- l'aide à la navigation, etc.

Remarquez que chacun de ces systèmes sous-tend généralement un réseau multiplexé dédié :

- pour le moteur et la boîte de vitesse : CAN HS, FlexRay,
- pour l'habitacle et le confort : CAN *low speed* (*fault tolerant*),
- pour la protection : *Safe-by-Wire*, IP5.

De plus en plus, le véhicule devient une annexe ou une succursale de la maison, avec ses équipements « domestiques » hautement sophistiqués :

- audio,
- vidéo,
- jeux vidéo,
- téléphonie, etc.

Il devient de plus en plus également une annexe du bureau :

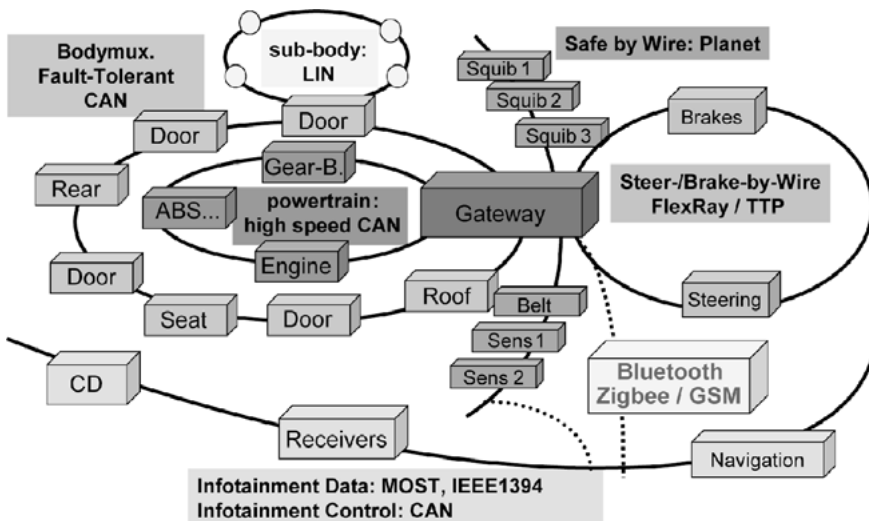
- imprimante à bord,
- voiture communicante :
 - GSM,
 - Bluetooth (à différents débits),
 - ZigBee,
 - NFC (*Near Field Communication*).

Tout cela entraîne des couches superposées de réseaux spécifiques et dédiés, et bien sûr de nombreuses passerelles entre ces réseaux dont vous trouverez de nombreux détails dans les chapitres suivants.

Le but de cet ouvrage est donc de vous entraîner dans les méandres de ces réseaux et de leurs interconnexions. Maintenant que vous voilà prévenu, mettons-nous à l'œuvre !

Infrastructure d'un véhicule

À ce jour, de très nombreuses couches de liaisons et de communications s'entrecroisent dans un véhicule. Il en est de même dans un avion ou dans tout autre système embarqué de haut niveau. Certes, pour ces derniers, certains réseaux utilisés sont différents, mais les problèmes restent sensiblement les mêmes. Afin de vous donner une idée plus précise de tout cela, la figure suivante présente, vu de très haut, un aperçu de l'architecture conventionnelle d'un véhicule presque actuel (c'est-à-dire demain matin... en 2020 !).



Urbi et orbi sont dans une auto...

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de faire une petite digression autour des applications *urbi* (internes) et *orbi* (externes) d'un système dans l'automobile ou le monde industriel. En effet, de nos jours, avec l'avènement grandissant des liaisons

radiofréquences, il est nécessaire d'inclure également dans cet inventaire les nouveaux protocoles de communication permettant de réaliser des réseaux « sans fil » (radiofréquence), de façon à pouvoir étendre le champ et les distances de communication. Très souvent, les réseaux commencent à être épris de certaines libertés métriques (distances de l'ordre de 10 à 50 m), hors tout cordon ombilical et les passerelles de type *wired/wireless* (câblé/sans fil) sont déjà légions sur le marché (par exemple les passerelles de type CAN/Bluetooth ou WiFi).

■ Les simples

Les protocoles les plus simples ont été élaborés pour des raisons de coût et de fonctionnalités. Bien entendu, les performances en termes de bande passante, de débit, de sécurité et de fonctionnalités sont plus restreintes. Parmi ceux-ci, les plus anciens, bien connus, sont les protocoles I2C, D2B et SPI et le LIN.

■ Les compliqués

Il s'agit de protocoles souvent très performants et très spécialisés, orientés vers des applications particulières.

Pour des applications câblées, il s'agit des protocoles TTCAN, FlexRay, *Safe-by-Wire* IP5, IEEE 1394, Ethernet, etc. Ce sont des réseaux rapides, performants, orientés applications dites temps réel, parfois auto-alimentés, sécurisés, redondants, etc., ainsi que des protocoles pour applications radiofréquences tels que DECT, Bluetooth, ZigBee, WiFi, etc.

En utilisation interne au véhicule, *urbi*

On trouve dès à présent, sous forme de « multiplexage câblé », de nombreux protocoles au sein d'un véhicule sur des véhicules haut de gamme ou sur des *concepts cars*. Chacun possède ses spécificités liées à son débit, à ses possibilités, à ses performances et à son coût. Les plus en vogue sont : CAN HS, LS, LSFT, FD, One Wire, TTCAN, LIN, I2C, MOST, IEEE 1394, Ethernet, CPL, FlexRay, *Safe-by-Wire*, etc.

■ Communications câblées

Commençons par le plus gros centre nerveux du système, le CAN.

□ CAN *high speed*

Comme indiqué sur la figure précédente, les liaisons de la partie motorisation, commande moteur (*power train*), boîte de vitesse (*gear box*) et freins (*brakes*) sont assurées à l'aide de liaison CAN *high speed*, du fait des nombreux échanges devant s'effectuer à débit rapide (250 kbit/s ou plus généralement 500 kbit/s et 1 Mbit/s). C'est historiquement le cœur du fonctionnement du véhicule et il est conçue en relation très étroite entre le constructeur automobile et ses plus proches équipementiers. Les développements des couches *hardware* et *software* associent des connaissances du sujet de longue date, des volontés marquées et des budgets de recherche & développement importants, car tous les participants travaillent sans cesse sur de nouveaux projets de véhicules incluant de nouveaux principes, de nouvelles messageries, etc.

□ CAN *low speed*

Cette couche de liaison est une couche périphérique de celle décrite ci-dessus. En effet, bien que de degré (supposé...) légèrement moindre, elle fait partie intégrante de la conception du véhicule. Ces liaisons desservent les nœuds situés principalement dans les zones dites d'habitacle (*body part*), et donc distantes de l'ensemble moteur précédent. Les valeurs conventionnelles des débits utilisés (62,5 et habituellement 125 kbit/s) couvrent les liaisons des nœuds de type les « ouvrants » (portes, toits ouvrants, coffres) et également le réglage des sièges, les liaisons avec la planche de bord intégrant l'autoradio, l'affichage classique de l'autoradio, la température interne/externe et l'ordinateur de bord (ces applications sont souvent à la limite entre *high* et *low speed* CAN).

Le fait de devoir gérer des incidents dus à des courts-circuits et des coupures d'éléments des liaisons qui ne risquent pas de mettre en défaut le fonctionnement global du réseau utilisé amène au système *fault tolerant*.

Notez que certains véhicules comportent jusqu'à 5 ou 7 réseaux CAN (*high* et *low speed*) physiquement non liés entre eux (de débits identiques ou non), ayant chacun un nombre de participants limité mais très dédiés, afin d'assurer des fonctionnalités très spécifiques ou encore de partager les risques de dysfonctionnement.

□ LIN

Le protocole LIN considéré par ses concepteurs comme un sous-bus du CAN est principalement utilisé pour les liaisons à bas débit (20 kbit/s maximum), afin de réduire le coût de nœuds (les performances requises pour ces nœuds sont faibles mais non stratégiques). Afin de mieux nous faire comprendre, citons l'exemple des commandes électriques de réglages, de chauffage et de repli du rétroviseur, à l'intérieur de la fonction « portière ». Remarquons l'arrivée juxtaposée au FT LS CAN du LIN dans le « haut de colonne » de direction, zone dans laquelle sont souvent concentrés de nombreux organes de commandes au volant (avertisseurs, changement de direction, commande de phares, réception de télécommande, réception des systèmes de surveillance de pression des pneumatiques – TPMS, etc.).

Notez également que certains véhicules comportent jusqu'à 5 ou 6 bus LIN physiquement non liés entre eux (de mêmes débits ou non), ayant chacun un nombre de participants limité mais très dédiés afin d'assurer des fonctionnalités très spécifiques. Évidemment, tout cela demande des passerelles (*gateways*) entre tous les bus que nous venons de citer.

□ CPL – *Current power line*

Pour les mêmes applications que ci-dessus, les liaisons CPL (*Current power line*) peuvent permettre d'envoyer des données et des ordres de commande à des systèmes (à bas débit, de l'ordre de 20 à 50 kbit/s maximum), à l'aide de porteuse HF modulée en ASK ou FSK, elle-même superposée au fil « + V_bat » transportant l'énergie à tous les modules du réseau. Ici aussi, le but principal de ces applications est la réduction des coûts. Ex : commande d'essuie-glace, liaison inter essuie-glace.

□ ***X-by-Wire, FlexRay***

Les communications basées sur les protocoles TTCAN et FlexRay sont très rapides et de type « temps réel ». À ce jour, les organes commandés selon ces protocoles sont ceux dont on souhaite diminuer le poids, le volume, et auxquels on désire donner davantage d'intelligence, par exemple les systèmes de colonne de direction, les organes de freins, d'embrayage, de suspension, de tenue de route, etc. Ce type de communication demande des débits élevés (de l'ordre de 7 à 10 Mbit/s) et, selon les applications envisagées, des redondances matérielles et logicielles. Ici aussi, la présence de passerelles est une nécessité entre les réseaux CAN et FlexRay.

□ ***Safe-by-Wire***

Les liaisons point à point des systèmes de commande de sécurité de déclenchement d'*airbags*, des dispositifs de pré-tension des ceintures de sécurité, etc., devraient disparaître à terme, et être remplacées par une topologie de bus. Ces liaisons, reliées directement à la sécurité physique des occupants du véhicule, doivent être aptes à fonctionner lors de l'impact du véhicule et comportent des notions de rapidité évidentes entre les informations détectées (détecteur de choc, accéléromètre, centrale inertielle, etc.) et les organes de déclenchement des squibs, de pré-tensionneurs des ceintures, etc.

□ **Audio-vidéo**

La distribution de l'audio et de la vidéo se généralise au sein des véhicules automobiles. En fonction de l'évolution des technologies, nous avons vu s'établir les réseaux de communications transportant ces informations à l'aide d'I2C puis D2B, puis de MOST à ce jour, et bientôt d'Ethernet à haut débit. Voici quelques mots d'introduction aux applications audio-vidéos supportées par ceux-ci.

Bus I2C

I2C, *Inter integrated circuit*, l'ancêtre... est toujours utile, principalement pour assurer certaines liaisons d'ordres de commande (arrêt, marche, changement de piste, etc.) entre l'autoradio et le lecteur de CD.

MOST

MOST, *Media oriented systems transport*, est un réseau ayant pour mission première d'assurer la distribution audio dans le véhicule. Il est également utilisé pour des applications vidéo au sein d'un véhicule, lorsque les débits numériques peuvent être adaptés aux applications embarquées (par exemple MPEG2).

IEEE 1394

L'IEEE 1394 (et son dérivé IDB) permet d'atteindre des débits encore plus élevés. Bien évidemment, il permet de remplir les mêmes applications que le MOST, et de multiplexer différentes sources audio-vidéo sur un même support câblé, par exemple :

- les informations provenant de la famille des CD audio, vidéo, CD-ROM de cartes routières de support à la navigation ;
- tous les types d'informations vidéo devant tôt ou tard être affichées sur un écran, l'affichage vidéo, la télématique/bureautique, les jeux vidéo, les DVD, la

localisation via GPS, l'aide à la navigation soit telles quelles, soit complémen-
tées à l'aide d'informations dynamiques ramenées par une liaison GSM.

Ethernet automobile

Dans cette nouvelle édition nous avons consacré un long chapitre, le 13, à l'utilisa-
tion spécifique de ce mode de communication en systèmes embarqués.

Communications radiofréquences

Toujours dans les applications *urbi*, internes au véhicule, il existe de nombreuses
applications utilisant un support radiofréquence pour assurer les communications
numériques.

Récepteurs radiofréquences pour toute application

Radio

Commençons par la plus conventionnelle des réceptions, celle de la radio AM/
FM/numérique/... avec intégration des antennes ou non dans les pare-brise ou
encore dans les systèmes de dégivrage arrière. Rien que du conventionnel ici, à
l'exception de commandes vocales (synthèse et/ou reconnaissance de paroles) pour
le réglage des stations et des volumes, etc.

Immobiliseur ou antidémarrage

La fonction « immobiliseur » (dispositif d'antidémarrage du véhicule) utilisant des
transpondeurs RF fonctionnant sur une porteuse à 125 kHz est bien connue
depuis des années. Elle fait communiquer, à quelques kbit/s sous communications
cryptées, un élément fonctionnant sans contact (transpondeur), situé dans la tête
de la clé de contact (ou dans un badge), afin de libérer le fonctionnement de la
partie allumage/injection du véhicule dans laquelle est situé le décryptage (en
couche enterrée) et d'autoriser le démarrage du moteur.

Bluetooth

Bluetooth est à ce jour bien connue. Il est facile de l'utiliser dans le périmètre intérieur
d'un véhicule.

Le premier exemple, largement répandu, est celui de l'emploi des « oreillettes »
permettant de continuer d'utiliser un téléphone portable en conduisant. D'autres
exemples résident dans la construction de « pico » réseaux à l'intérieur d'un véhicule,
en reliant tous les modules informatiques/bureautiques embarqués (imprimante
pour e-mail, etc.), mais également, en limite *urbi/orbi* :

- des applications aux services d'accueil des garages/succursales/concessions/etc. ;
- des applications aux systèmes d'entrée dits « mains-libres » (*passive entry*) ;
- des applications à des systèmes antivols ou anti-intrusions, basés sur des prin-
cipes de *relay attacks*, etc.

Passons maintenant aux applications radiofréquences devant assurer un pont *urbi/*
orbi entre l'intérieur du véhicule et le monde extérieur.

Communications radiofréquences

Télécommande

De nos jours, les télécommandes fonctionnent à l'aide de liaisons radiofréquences

UHF (principalement dans les bandes des 433 MHz et 866 MHz). Les modulations de l'onde porteuse sont effectuées soit en ASK (OOK, *On off keying*), soit en FSK. Les débits numériques de communications sont de l'ordre de quelques (dizaines de) kilobauds et les protocoles utilisés sont généralement propriétaires. Les messages transmis par ces télécommandes, également cryptés, habituellement selon le cryptage utilisé par le système servant à l'immobilisateur, sont ensuite transcodés en trames CAN lors de leur réception, afin d'atteindre les décodeurs. Le même ensemble électronique effectue le décryptage des signaux provenant de la fonction immobilisateur, et ceux de la télécommande présente dans la clé ou le badge.

□ **PKE – *Passive keyless entry – Passive go***

Les systèmes PKE et *Passive go* cachent ce que l'on appelle les fonctionnalités « entrées mains-libres » et « démarrage via un bouton » (le tout donc, sans clé apparente). Ces liaisons RF, de types bidirectionnelles, montante en provenance du véhicule vers la clé, fonctionnant sur une porteuse à 125 kHz à un débit de quelques kbit/s. Dans le sens de la liaison descendante, de la clé/badge vers le véhicule, elle fonctionne à l'aide d'une porteuse se situant généralement dans la bande des 433 MHz. Le protocole de communication (généralement propriétaire) doit être apte à gérer et à traiter les collisions de messages et/ou de porteuse car, le tout se passant mains-libres, plusieurs passagers équipés de badges (M., Mme, etc.) peuvent se présenter simultanément autour du véhicule.

□ **TPMS – *Tyre (ou Tire) Pressure Monitoring Systems***

Les systèmes TPMS ont pour mission de mesurer les pressions individuelles des roues, de corriger leurs valeurs en fonction de la température des pneus et de les transmettre au conducteur, en émettant ces informations/alertes en RF (à 433, 868 ou 915 MHz selon les pays) toutes les une ou deux minutes quand tout va bien, et beaucoup plus fréquemment en cas de problème.

□ **Tyre iD – *identification des pneus***

Attention à ne surtout pas confondre « l'identification des pneus » avec le sujet précédent TPMS ! Nous évoquons ici ce qui touche à l'identification RF à 900 MHz¹ des pneus (type, modèle, lieu de fabrication, neuf, rechapé, etc.) et non à la mesure de leur pression.

■ **Les *wireless networks***

Pour terminer ce tour d'horizon, évoquons rapidement les réseaux sans fils fonctionnant en radiofréquences dit *wireless networks*.

□ **GSM**

Au-delà de la simple liaison de téléphonie mobile bien connue, ce type de liaison RF permet également l'ouverture à de nombreux nouveaux services.

□ **GSM et Bluetooth**

Selon les régulations locales en vigueur dans les différents pays de notre belle planète, il est possible d'émettre différents niveaux (classes 1, 2, 3) de puissances

1. RFID, voir de nombreux ouvrages du même auteur chez Dunod.

EIRP, entraînant par voie de conséquence différentes distances de communication (de quelques mètres à quelques centaines de mètres). Ceci est suffisant pour échauffer des applications *orbi* !

□ **IEEE 802.11x**

Le concept IEEE 802.11x, connu également sous le nom de *WiFi*, ne vise pas les mêmes applications que Bluetooth mais, bien malin celui capable à ce jour de prédire avec certitude les répartitions applicatives futures de ces deux concepts !

□ **NFC (*Near Field Communication*)**

Petit dernier de la famille radiofréquence, le NFC (*Near Field Communication* ou communication en champ proche) permet d'effectuer des communications sur une distance de quelques centimètres. Que vient faire ce concept dans la partie *orbi* avec une distance si faible de communication qui devrait le placer directement dans la famille des *urbi* ? La réponse... au chapitre 15 !

Positionnement en termes de performances/coûts

Avant de conclure cette courte introduction à ces nouveaux protocoles, donnons d'ores et déjà leur positionnement, actuel et dans un futur proche, en termes de rapport performances/coûts, utilisations/importances relatives des uns par rapport aux autres, et consommations annuelles et cumulées. La figure suivante illustre la dépendance coût/débit de ces concepts. On n'a rien sans rien : plus on veut aller vite, plus c'est cher. Ce n'est pas nouveau ! Il est bien évident que les coûts relatifs indiqués en abscisse ne sont donnés que pour information avec les réserves d'usage. Ils sont à réactualiser au quotidien en fonction de vos souhaits précis applicatifs.

