

Les réseaux automobiles deviennent « sensibles au temps » avec la technologie Ethernet AVB

La technologie AVB/TSN (Audio/Video Bridging – Time Sensitive Networking) a atteint un bon niveau de maturité depuis la création du groupe d'experts AVB à l'IEEE.

Des « voitures AVB » roulent déjà sur les routes et de plus en plus d'équipementiers travaillent sur cette technologie. Du fait de la standardisation, un grand nombre de matériels et de logiciels interopérables sont déjà disponibles sous forme de produits commerciaux optimisés. La vision de la « voiture tout Ethernet », qui a été remise en question par le passé, n'est donc plus une utopie. Précisions de Microchip.

La communication par paquets sur des réseaux « pontés » est devenue une norme mondiale. Ce mode de communication est aujourd'hui utilisé dans des systèmes de taille et de complexité très variables, par exemple dans les serveurs et à bord des avions, mais aussi dans de petits appareils télécommandés, des capteurs distants et dans de nombreuses applications IoT (Internet des objets).

Les trames Ethernet ou les paquets IP peuvent être transmis de manière transparente sur différents supports physiques dans la mesure où Ethernet est découplé de la couche physique. Ainsi les appareils connectés au travers de différents types de réseaux peuvent communiquer entre eux de manière transparente, par exemple un téléphone cellulaire avec une cellule de connexion au réseau, ou une unité de commande en réseau INICnet (ISO 21806) à bord d'une voiture (via l'unité télématique ou la passerelle du véhicule). Les paquets IP sont acheminés de l'expéditeur au destinataire.

Jusqu'ici tout va bien, mais qu'en est-il des temps de transmission, de la latence, de la gigue et des éventuels paquets perdus ? Malheureusement, l'Ethernet original n'est pas déterministe, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun contrôle sur le moment auquel les dispositifs sont autorisés à envoyer des données, ni sur le volume de données qu'ils sont censés transmettre, ni sur la route que les paquets doivent suivre pour arriver à destination. Les temps de transmission entre deux dispositifs

AUTEUR

Francis Ielsch,
responsable marketing produit AIS,
Microchip Technology.

varient constamment et des paquets peuvent être perdus si le réseau est encombré. Ce comportement est incompatible avec certaines applications critiques, pour lesquelles une faible latence et une bonne livraison doivent être garanties.

Les technologies de bus et de réseau propriétaires, qui se caractérisent par une faible latence et un déterminisme, restent des solutions limitées. Sur tous les marchés, la tendance est aux technologies normalisées et ouvertes, indépendantes de tout fabricant spécifique. En outre, les technologies standard ne nécessitent ni savoir-faire particulier, ni passerelles complexes et coûteuses.

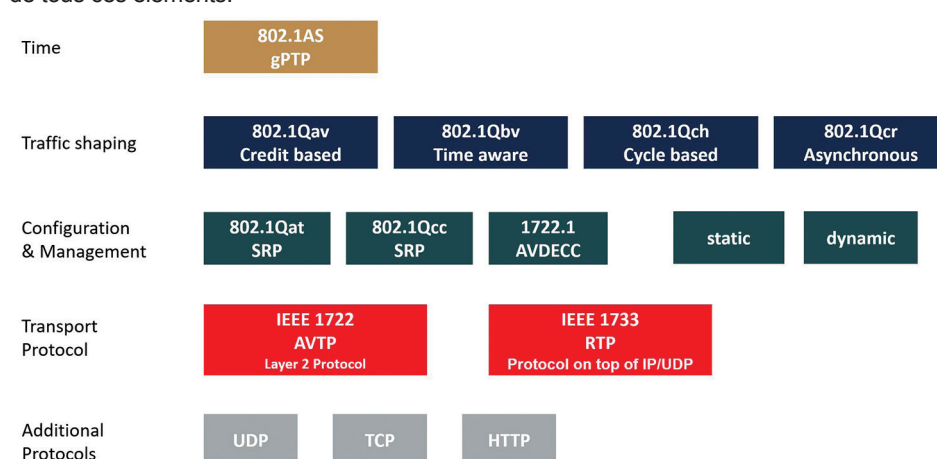
La communauté s'intéresse donc aux faiblesses d'Ethernet depuis de nombreuses années. Au fil du temps, diverses solutions ont vu le jour pour

améliorer le comportement en temps réel d'Ethernet, notamment AVB/TSN. La technologie AVB (Audio Video Bridging) a été lancée en 2008 par un groupe de travail de l'IEEE. L'objectif à l'époque était d'améliorer la transmission de données audio et vidéo critiques au niveau temporel sur Ethernet. Le terme AVB recouvre non seulement la norme IEEE 802.1BA mais aussi les normes suivantes (figure 1) :

- **IEEE 802.1AS** : synchronisation horaire.
- **IEEE 802.1Qav** : régulation de la transmission et de la mise en mémoire tampon intermédiaire des trames dans les commutateurs.
- **IEEE 802.1Qat** : allocation dynamique de bande passante pour les flux audio et vidéo.
- **IEEE 1722** : protocole de transport.

1 LES DIVERS ÉLÉMENTS DE LA NORME AVB (AUDIO/VIDEO BRIDGING)

Les systèmes AVB mettent généralement en œuvre différents sous-ensembles de tous ces éléments.





● A.- Le groupe TSN (Time Sensitive Networking) de l'IEEE a adopté les normes du groupe AVB (Audio/Video Bridging) et s'adresse à un éventail beaucoup plus large d'applications dans les secteurs de l'audio/vidéo professionnel, de l'industrie, de l'automobile, et de l'aéronautique

- **IEEE 1722.1** : configuration dynamique des réseaux et des dispositifs AVB.

La norme a été finalisée et publiée en 2011. Elle a d'abord été utilisée dans un large éventail d'applications multimédias, puis dans des applications industrielles, notamment pour la transmission de commandes ou de données de capteurs à délai critique. L'intérêt pour AVB dans le cas d'applications non multimédias s'étant accru, un nouveau groupe de travail appelé Time Sensitive Networking, ou réseau sensible au temps (TSN), a été créé à l'IEEE. Le groupe TSN a adopté les normes du groupe AVB et s'adresse à un éventail beaucoup plus large d'applications dans les secteurs de l'audio/vidéo professionnel, de l'industrie, de l'automobile, et de l'aéronautique (photo A).

Dans le domaine automobile, les normes AVB originales sont encore utilisées aujourd'hui, mais dans certains cas, des versions révisées du groupe TSN sont déjà utilisées. Cet article traite principalement des normes AVB, qui peuvent être considérées comme équivalentes à TSN.

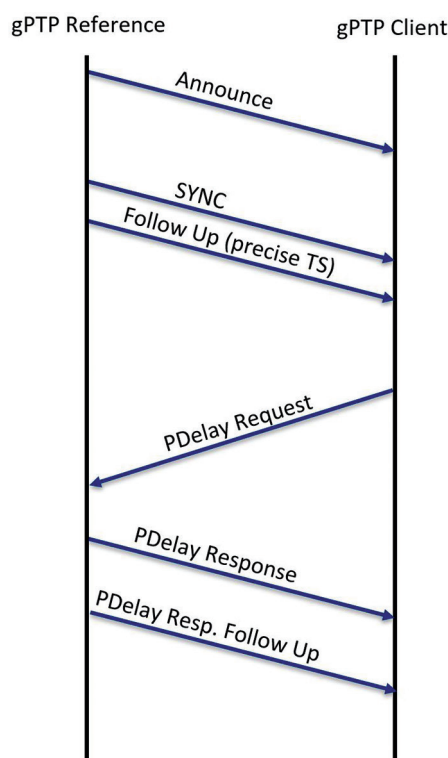
Synchronisation horaire avec gPTP

Le protocole horaire de précision généralisé (gPTP - IEEE 802.1AS) est la base commune de tous les systèmes compatibles AVB. Son objectif ressemble à celui du Network Time Protocol ou protocole horaire réseau (NTP), bien connu du monde informatique. Le protocole NTP garantit que les horloges des ordinateurs sont

synchronisées au sein d'un réseau local sur une heure de référence avec une précision de quelques millisecondes dans les meilleures conditions. Cette précision est parfaitement suffisante pour les ordinateurs et les serveurs, mais elle est insuffisante pour les applications synchrones ou à temps critique.

2 INTERACTIONS ENTRE LA RÉFÉRENCE GPTP ET LES CLIENTS GPTP

Base commune de tous les systèmes compatibles AVB, le protocole gPTP envoie toujours deux trames à la suite : « Sync » et « Sync Follow-Up ». Les clients utilisent les horodatages inclus pour régler leurs horloges locales sur l'heure de référence, ce qui garantit que tous les appareils du réseau utilisent exactement la même référence de temps.



gPTP garantit une base de temps beaucoup plus précise aux dispositifs Ethernet, généralement de l'ordre de la microseconde ou, au mieux, de la nanoseconde. Essentiellement, gPTP se compose de deux mécanismes : la distribution de l'heure de référence et le calcul du temps de transmission. L'heure est distribuée à partir d'un ou plusieurs nœuds de référence temporelle (appelés « gPTP masters » selon la norme IEEE) à un ou plusieurs clients (dénommés « gPTP slaves » selon la norme IEEE). Similaire à la procédure en deux étapes de l'IEEE 1588, gPTP envoie toujours deux trames à la suite : « Sync » et « Sync Follow-Up ». Les clients utilisent les horodatages inclus pour régler leurs horloges locales sur l'heure de référence, ce qui garantit que tous les appareils du réseau utilisent exactement la même référence de temps (figure 2).

La précision de la base de temps ne peut toutefois être garantie que si le temps de transmission requis sur le réseau est aussi pris en compte. Pour ce faire, il faut toujours effectuer des mesures de retard entre pairs, deux par deux, entre nœuds immédiatement voisins. Le total des temps de transmission mesurés par nœud donne alors la valeur du retard entre pairs, à partir duquel le temps gPTP peut ensuite être corrigé.

Les protocoles de transport

● IEEE 1722 - AVTP

Le protocole de transport audio/vidéo (AVTP) est le protocole de transport standard pour la transmission de données audio/vidéo et de données à temps critique *via* Ethernet AVB. Il s'agit d'un protocole léger de couche 2 ISO/OSI qui sert à accéder aux dispositifs grâce à leurs adresses MAC. Il n'est donc pas nécessaire d'intégrer une pile IP complète, ce qui permet de minimiser la taille, le coût et la complexité des projets et des conceptions.

● IEEE 1733 - RTP/RTCP

RTP et RTCP (IETF RFC 3550) sont des protocoles réseau de type IP pour la transmission de données audio et vidéo sur Ethernet. Ils sont utilisés depuis de nombreuses années dans toutes sortes de dispositifs industriels et grand public, comme les caméras de vidéosurveillance et les dispositifs d'interphonie. IEEE 1733 est une

adaptation de RTP/RTCP pour la transmission synchrone via AVB et s'avère donc une alternative de type IP à l'IEEE 1722.

Mise en forme du trafic

Un réseau Ethernet se compose généralement d'un grand nombre de points terminaux (ordinateurs, dispositifs électroniques) et de ponts (commutateurs, passerelles, etc.). Quel que soit le protocole de transport choisi, les données sont encapsulées dans des trames Ethernet qui sont acheminées de l'émetteur au récepteur en passant par plusieurs ponts (hops). La manière et le moment où les trames sont transmises ne sont pas déterministes. Les ponts situés le long de la route transmettent les trames plus ou moins rapidement (selon le mode « store-forward » ou mise en attente, ou le mode « cut-through » ou raccourci). En cas de congestion du réseau, les trames sont parfois stockées en mémoire tampon pendant un certain temps et peuvent même être perdues dans le pire des cas.

Les systèmes industriels et automobiles ont besoin d'une latence faible et déterministe et, surtout, d'une transmission fiable sans risque de perte de trames. La mise en forme du trafic (qui fait partie de la norme IEEE 802.1Q - Qualité de service) répond à ce besoin. La mise en forme du trafic définit les stratégies de traitement des trames par les ponts, en fonction de leur priorité. Il existe plusieurs normes pour la mise en forme du trafic, telles que :

- **IEEE 802.1Qav** : Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams, ou améliorations de file d'attente et de transfert pour flux sensibles au temps (FQTSS), parfois appelé Credit Base Shaper (CBS) ou mise en forme à base de crédits.

- **IEEE 802.1Qbv** : Améliorations pour le trafic programmé, communément appelé Time Aware Shaper (TAS) ou mise en forme consciente du temps.

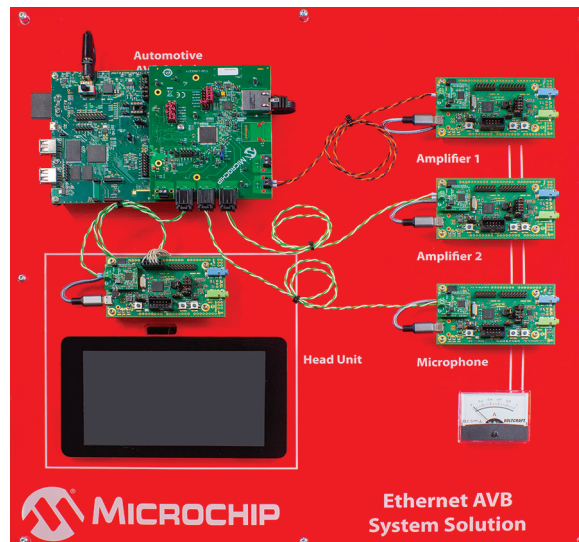
- **IEEE 802.1Qch** : Mise en file d'attente et transfert.

- **IEEE 802.1Qcr** : Mise en forme du trafic asynchrone.

Le secteur automobile utilise principalement CBS et TAS.

• CBS - Mise en forme à base de crédits (802.1Qav)

Lors de l'utilisation de la mise en forme à base de crédits, chaque péri-



phérique Ethernet obtient un crédit qui lui sert à envoyer des trames. Tant que le montant du crédit reste positif, le dispositif peut continuer à envoyer des trames. Une fois le crédit épuisé, l'appareil ne peut plus envoyer de trames. Il doit attendre que son crédit soit renouvelé.

Cette stratégie garantit une utilisation efficace de la bande passante. Il n'y a pas de créneaux horaires prédéfinis. Les points terminaux ayant besoin d'envoyer des données par intermittence peuvent accumuler leur crédit et l'utiliser en une seule fois. La configuration d'un réseau AVB avec CBS est relativement simple.

• TAS - Mise en forme (802.1Qbv)

Contrairement à Qav, la stratégie IEEE 802.1Qbv s'appuie sur un modèle de créneau horaire. Au lieu de s'appuyer sur la quantité de données à envoyer, elle se concentre sur la fréquence des transmissions. Les nœuds ne peuvent pas émettre pendant une certaine durée, mais sont garantis d'être autorisés à émettre très régulièrement. Cela se traduit par une latence beaucoup plus faible et plus déterministe.

L'inconvénient de Qbv cependant tient à ce que la bande passante du réseau n'est pas toujours utilisée efficacement. Si les points terminaux n'utilisent pas leurs créneaux, ces créneaux et donc la bande passante sont perdus. Mais cet effet peut être compensé en utilisant la préemption de trame (IEEE 802.1Qbu).

Interopérabilité avec AVNU

Les architectes système peuvent utiliser un large éventail de composants disponibles pour mettre en œuvre

• B.- Dans les applications réelles, les réseaux AVB comprennent plusieurs composants : commutateurs, PHY et points terminaux. Tous les commutateurs et points terminaux doivent prendre en charge AVB pour obtenir les performances souhaitées.

AVB. Selon les exigences du système, différents sous-ensembles AVB peuvent être mis en œuvre. Bien que cela soit utile pour minimiser les composants matériels - en ne mettant en œuvre que ce qui est vraiment nécessaire - cela peut entraîner des problèmes d'interopérabilité, dans la mesure où les dispositifs de différents fournisseurs peuvent ne pas prendre en charge exactement les mêmes fonctions AVB. Ce problème est aggravé par le fait que les ingénieurs peuvent parfois interpréter les normes IEEE de différentes manières.

Pour assurer l'interopérabilité entre fournisseurs, la spécification fonctionnelle et d'interopérabilité Ethernet AVB de l'alliance AVNU dans le domaine automobile définit une référence pour les sous-ensembles AVB et les paramètres associés, qui doivent être mis en œuvre dans chaque dispositif. La compatibilité AVNU des appareils compatibles AVB peut être testée en externe par des entreprises de test, ou en interne à l'aide d'équipements de test spécifiques.

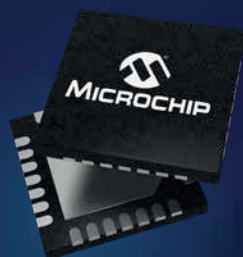
Mise en œuvre pratique

Dans les applications réelles, les réseaux AVB comprennent plusieurs composants : commutateurs, PHY et points terminaux. Tous les commutateurs et points terminaux doivent prendre en charge AVB pour obtenir les performances souhaitées (photo B). Grâce aux normes IEEE et aux spécifications AVNU et OpenAlliance, les composants de différents fournisseurs, tels que les PHY et les commutateurs, sont aujourd'hui hautement interopérables. Pourtant, la mise en œuvre d'AVB dans les terminaux reste une tâche complexe et fastidieuse. Ces systèmes sont souvent développés sur la base de puces-systèmes SoC ou de microcontrôleurs haut de gamme, dans lesquels de nombreux logiciels doivent être intégrés comme un système d'exploitation en temps réel, Autosar et une pile AVB qui doit souvent faire l'objet d'une licence auprès d'un tiers. Les points terminaux AVB, comme le LAN9360 de Microchip, constituent une alternative intéressante. Ces points terminaux consistent en un type de contrôleur Ethernet intelligent à protocoles AVB intégrés. AVB peut donc être déployé immédiatement en tant que solution matérielle, ce qui évite d'avoir à développer des logiciels. ■

Microchip is...

Industrial

MCUs and MPUs < Wired and Wireless Connectivity <
AI/ML < Power Management <
FPGAs < Frequency and Timing <
Motor Control and Drive <



- Smart Factory
- Automation
- Robotics
- Embedded Vision
- Energy Metering and Management



microchip.com/Industrial



The Microchip name and logo and the Microchip logo are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries. All other trademarks are the property of their registered owners.
© 2023 Microchip Technology Inc. All rights reserved.
MEC2476A-UK-02-23