

Tendances

SYNCHRONISATION

Des "Big Ben" pour le protocole IEEE 1588

▼ Il y a un an, nous vous exposions le principe de la norme de synchronisation IEEE 1588. Parmi les industriels intéressés par cette évolution, les automaticiens qui utilisent des réseaux Ethernet industriels et qui cherchent à obtenir des communications déterministes. Ou encore ceux qui réalisent des bancs d'essais mettant en œuvre une batterie d'instruments. Aujourd'hui, il existe sur le marché un certain nombre de produits pour mettre cette technique en œuvre, notamment des commutateurs et des cartes d'interface. Mais le chef d'orchestre, l'appareil qui impulse le tempo, c'est l'horloge principale du réseau.

Pour un Britannique, le nombre "quinze cent quatre-vingts dix-huit" évoque irrémédiablement l'année où la marine anglaise défait l'Invincible Armada espagnole devant les côtes du Nord-Pas-de-Calais. Mais pour les ingénieurs du reste du monde, il est d'abord associé à la norme IEEE 1588, qui

L'essentiel

- ▶ Le Precise Time Protocol, nom de code IEEE 1588, a été écrit pour synchroniser des réseaux à partir d'une connexion Ethernet. Il offre une précision de l'ordre de la centaine de nanosecondes.
- ▶ Dans ce protocole, les éléments du réseau se synchronisent sur l'horloge la plus précise. Les constructeurs sortent des horloges calées sur l'heure fournie par le système de navigation par satellite GPS, qui délivre une heure de référence.
- ▶ Ces horloges transmettent les informations à tous les membres du réseau, qui sont ainsi synchrones.

visait à synchroniser plusieurs éléments communicants en se basant sur un réseau Ethernet. Cette technologie de synchronisation d'une précision avoisinant les 100 ns intéresse certains secteurs de l'automatisme, qui utilisent des réseaux Ethernet industriels et qui sont toujours en quête de transmissions de données déterministes et temps réel, ou encore le monde de l'instrumentation. Pour preuve : Siemens, Rockwell Automation ou encore Agilent sont

intervenus à une conférence "IEEE 1588" en octobre dernier à Zurich, organisé par le Nist pour décrire le potentiel de cette norme dans leurs métiers respectifs.

Pour être bien employé, ce protocole nécessite une horloge qui soit la référence, le "Big Ben" de l'installation, qui est déterminé par les éléments du réseau de manière algorithmique par l'algorithme Best Master Clock. Au moment d'initier le réseau, l'horloge la plus précise n'est pas identifiée. Plusieurs appareils envoient des trames Ethernet, des messages de synchronisation Sync. Chacun de ces appareils agit comme s'il était la meilleure horloge du réseau. Toutes les horloges agissant comme des "maîtres" lancent l'algorithme pour déterminer si elles doivent le rester ou non. Inversement, celles jugées "non-maîtres" exécutent le même algorithme pour savoir si elles ne doivent pas passer "maître". L'opération est relancée à chaque fois que l'on connecte une référence de temps. Une fois terminée cette manipulation, il ne reste dans tout le réseau qu'une seule horloge "maître".

Sur cet appareil vont venir se caler les sous-systèmes connectés. Plusieurs sociétés mettent sur le marché des produits qui postulent à ce statut de référence. Comme la Californienne Symmetricom, renforcée l'été

dernier par le rachat d'une division d'Agilent Technologies comprenant notamment les fameuses horloges au césium 5071A. Ou l'Allemande Meinberg, créée en 1979 par deux frères, Werner et Günter.

Le Global Positioning System comme référence

Technologie de base des deux horloges : la synchronisation sur le système Global Positioning System (GPS). Cette référence de temps est dispensée au monde entier par un réseau de satellites qui sont synchronisés depuis une base de l'armée de l'air américaine située dans le Colorado. Pour détecter les signaux émis par les satellites du système GPS, les horloges sont équipées de récepteurs GPS. Ceux-ci peuvent se synchroniser en scrutant les signaux venant d'autant de satellites que de canaux de mesure. Si elles ont le même format rackable 19", les horloges XLi IEEE 1588 Grandmaster de Symmetricom et Lantime IEEE 1588 de Meinberg divergent quant au nombre de canaux : le modèle américain en compte douze, tandis que celui du constructeur allemand n'en a que six. « En fait, la notion de tracking, c'est-à-dire la capacité de suivre plusieurs satellites, est importante pour établir une position par GPS, lorsque le sujet se déplace. Dans ce cas, une dou-

Calées sur l'heure délivrée par le système GPS, les horloges présentées sont faites pour s'insérer dans un réseau utilisant le protocole IEEE 1588. Elles y servent de "Grand Master Clock", la référence temporelle



zaine de satellites sont nécessaires. Pour synchroniser en temps un équipement fixe, il n'y a pas besoin de suivre autant de satellites », précise Karl Vitry de JTelec, distributeur pour la France de Meinberg. Le GPS impose l'utilisation d'une antenne qui voit directement le ciel. Si l'on travaille

en intérieur, voire même en bunker, on peut toujours utiliser une antenne déportée. « Cela se fait en déployant de la fibre optique avec le Xli de Symmetricom », note Thierry Peltier, responsable des ventes pour Elexience, distributeur français du producteur américain. Il n'y donc pas vraiment de limite de

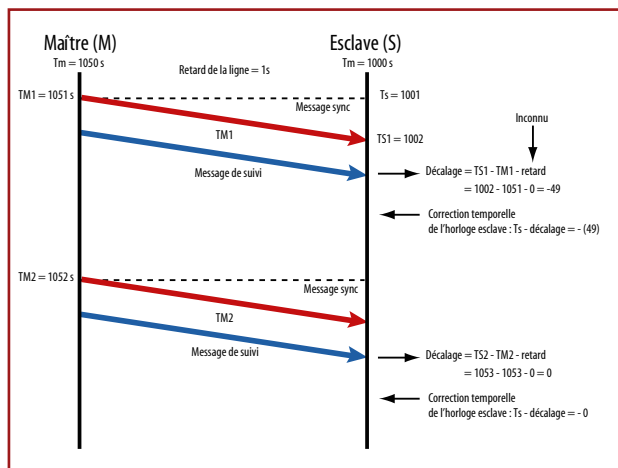
distance. Du côté de Meinberg, on utilise du câble coaxial RG58 pour aller jusqu'à 300 m de distance, et le double avec du câble RG213. Malgré ces précautions, il est possible que la réception des signaux satellites ne se fasse pas correctement. Pour que l'horloge reste à

IEEE 1588, le principe

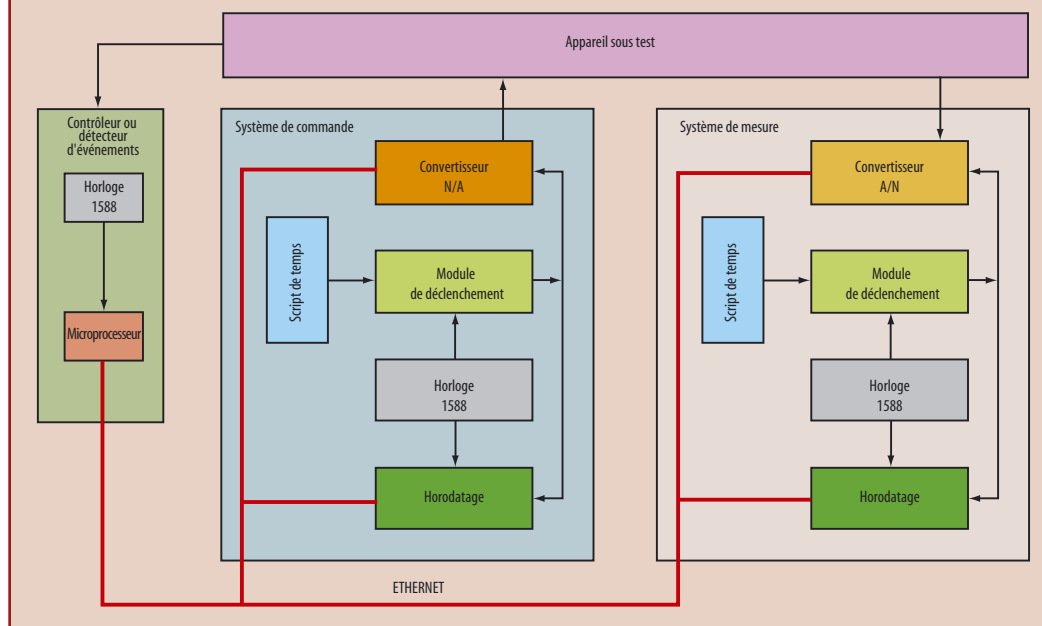
Scène essentielle à tout film d'action : la synchronisation des montres de chacun des membres de l'équipe. Dans le monde des essais, et donc de l'acquisition de données, cette étape de "mise à l'heure" des divers équipements peut se faire grâce à des systèmes IRIG, qui confèrent une précision de 1

à 10 μ s. « Pour beaucoup d'industriels, l'IRIG est trop lourd puisqu'il implique l'ajout d'un câble coaxial pour transmettre les informations de synchronisation », note Thierry Peltier, responsable des ventes pour Elexience. Plus facile à mettre en œuvre, le protocole Network Timing Protocol (NTP) n'offre qu'une précision de l'ordre de la milliseconde mais le lien physique est assuré par le câble Ethernet. Soulignant les compromis effectués par ces solutions, les promoteurs de la solution IEEE 1588 mettent en avant sa facilité d'emploi, grâce à l'utilisation du réseau Ethernet, et sa précision, qui est de l'ordre de la centaine de nanosecondes. Dans ce protocole, également nommé (PTP pour Precise Time Protocol), le réseau détecte l'horloge la plus fiable, qu'il définit comme

l'horloge maître. Celle-ci envoie à ses esclaves des messages de synchronisation comportant l'heure exacte d'émission. Immédiatement après, l'horloge maître envoie un second message, dit de suivi. Contenu dans ce message, le moment effectif de l'envoi du 1^{er} message sur le hardware. L'horloge esclave récupère ces deux informations et se synchronise sur le maître pour être à la bonne heure. Mais le protocole inclut également une deuxième manipulation, visant à compenser les temps de latence induit par les divers équipements, comme celui mis par les commutateurs à traiter les paquets de données. Cette fois-ci, c'est l'esclave qui s'adresse au maître à un moment qu'il enregistre. Le maître répond en indiquant l'heure de réception. À partir de ces deux données, l'esclave détermine le retard. Cette durée est ensuite prise en compte dans le traitement des données et élimine la gigue, c'est-à-dire les fluctuations temporelles entre éléments IEEE 1588, notamment la pile protocole et le temps de latence entre le maître et l'esclave.



Exemple d'application mettant en jeu le protocole IEEE 1588



Le micro contrôleur ou détecteur d'événements (à gauche) envoie via Ethernet les messages de déclenchements qui sont comparés à l'horloge pour lancer l'acquisition ou l'excitation de l'appareil sous-test

l'heure, c'est l'oscillateur incorporé qui prend la relève. Selon les modèles d'oscillateurs, la dérive temporelle est plus ou moins importante par rapport à la référence GPS. Un oscillateur TCXO (oscillateur à cristaux de quartz compensé en température) peut dériver de 8,6 ms sur 24 heures. En contrôlant en tension ce type d'oscillateurs, on améliore les perfor-

mances. Mais il existe des oscillateurs de qualité encore supérieure. C'est le cas des oscillateurs à quartz thermostatés OCXO. Selon les modèles, la dérive temporelle varie d'environ 10 μ s à 1 ou 2 ms par jour. Mais la référence ultime, c'est quand même le rubidium dont la dérive temporelle ne dépasse pas 2 μ s d'un chant du coq à l'autre.

Administration par le réseau

Cette dérive peut être occasionnée par le système d'exploitation de l'horloge lors de l'émission des paquets de bits codant le temps. Mais aussi par le réseau lui-même, selon sa configuration. Les switches notamment induisent des temps de latence, dus au traitement "store-and-forward" : les paquets reçus par un switch sont brièvement emmagasinés, le temps que l'appareil lise l'adresse du destinataire et réexpédie le message dans la bonne direction. « Cette durée est une variable inconnue, qui varie en fonction de la charge du commutateur », précise Xavier Meunier, responsable commercial pour Westermo France. C'est ce genre de décalage temporel que règle le protocole PTP grâce à des échanges de messages de synchronisation (voir en encadré "Le principe du protocole")

Pour communiquer avec les équipements, les horloges de Meinberg et Symmetricom disposent d'un port Ethernet, et même plusieurs en option. C'est également par cette connexion physique que peut être administrée l'horloge. « L'horloge de Meinberg est configurable grâce au protocole Telnet, par Simple Network Management Protocol (SNMP) ou par page Web via un serveur Web inclus dans le LunTime », détaille Karl Vitry. Côté Symmetricom, cela peut se faire par Telnet, SNMP ou Enterprise MIB.

Switchs et cartes s'y mettent aussi

Grâce au rachat l'été dernier de OnTime, le Suédois Westermo a acquis de solides compétences dans le domaine du protocole IEEE 1588. Avec son dernier-né, le commutateur Ethernet T 208, le fournisseur suédois propose « un commutateur Ethernet 8 ports avec une connectique RJ45, qui dispose en plus d'interfaces RS 232 ou RS 422 permettant la connexion à un récepteur GPS. L'achat de ce récepteur reste à la charge du client. À l'intérieur du T-208, l'oscillateur vient se caler sur les signaux satellites », décrit Xavier Meunier, responsable commercial pour Westermo France. Dans cette configuration, le T 208 peut agir comme une horloge maître – le "Grand Master" du réseau – et synchroniser ses esclaves avec une précision d'environ 20 à 40 ns. Mais ce switch peut être utilisé sans GPS, et dans ce cas il servira d'horloge secondaire. Cet appareil peut-être utilisé dans un anneau redondant. On peut



accéder à ses données internes, comme pour interroger le nombre de satellites détectés, via le protocole Telnet « et bientôt par le Simple Network Management Protocol SNMP », poursuit Xavier Meunier.

De son côté, National Instruments a sorti une carte d'interface au format PCI, commodément nommée PCI-1588. Incorporé à la carte, un oscillateur à quartz TCXO fournit l'heure de référence, avec une déviance d'une particule par million sur un an. Cette fois, il n'y a pas de réception GPS. Un port Ethernet distribue cette horloge vers les équipements. « Dans le cas d'une application d'instrumentation avec des équipements distribués, on aura ainsi divers appareils possédant exactement la même heure, avec une précision inférieure à la micro-seconde », explique Étienne Suc de National Instruments. En test et mesure, des applications peuvent être développées, notamment avec le standard LXI. L'été dernier, l'Américain Agilent Technologies avait fait parvenir aux membres du consortium LXI des kits de démonstration utilisant le protocole



IEEE 1588. Cette technique de synchronisation est mise en jeu dans les classes A et B du standard LXI, les plus exigeantes, la classe C ne l'utilisant pas. La classe A utilise en sus un bus spécifique de déclenchement.

Les différents protocoles de synchronisation

Protocole	Précision de la synchronisation	Connectique
NTP	De 1 à 10 ms	Câble Ethernet
IRIG	De à 10 μ s	Câble coaxial
IEEE 1588	De 20 à 100 ns	Câble Ethernet

Source : Symmetricom

Si le protocole est mis en œuvre pour un réseau Ethernet – et non pour une solution d'instrumentation basée sur une connectique LAN –, l'idéal est de travailler sur un réseau commuté, de préférence de petite taille : dans un document de présentation du fournisseur de solutions d'Ethernet industriel Hirschmann (connu pour ses commutateurs), on peut lire que « le protocole a été conçu pour des petits réseaux locaux ». Il doit être utilisé avec des commutateurs spéciaux, tels que ceux fournis par Hirschmann donc, mais aussi Westermo. Reliés à l'horloge principale, ceux-ci deviennent des "boundary-clocks", un des ports est désigné comme le maître, c'est celui du côté de l'horloge principale, par

lequel arrivent les signaux de référence. Les autres ports sont des esclaves et propagent la référence temporelle. Mais le fait de mettre en cascade plusieurs de ces commutateurs fait augmenter la gigue (incertitude temporelle, "jitter" en anglais) et donc perturbe le réseau. De meilleurs résultats peuvent être obtenus avec les commutateurs "transparents" qui, grâce à la présence d'un FPGA, compensent leurs propres retards, ceux induits par la file d'attente à l'intérieur du switch. Cette compensation se fait en prenant en compte le temps de traitement de l'information induit par le switch et en le déduisant au moment d'horodater la trame sortante.

Si l'Ethernet n'est pas déterministe, pour Xavier Meunier (Westermo), « on est déterministe dans le sens où on est capable à la réception de replacer les événements dans l'ordre d'émission, grâce à l'horodatage. Dans une installation figée, on peut même avoir à l'avance une bonne idée du temps de transfert ».

Ces produits sont nouveaux et le déploiement de ce protocole dans les réseaux n'en est pour l'instant qu'à ses débuts : « Des introductions de nos produits en bêta-test chez certains clients ont déjà été effectuées », précise Thierry Peltier (Elexience). Puisqu'ils sont nombreux à croire à l'expansion de l'Ethernet et de l'IP, on peut imaginer que ces horloges ultra-précises intéresseront ceux qui ont besoin de précision dans leur réseau ou leur application d'instrumentation. Ces références temporelles doivent néanmoins se préparer à l'arrivée de Galileo, le pendant européen du projet de navigation par satellite GPS. La commission européenne annonce vouloir commencer son déploiement en 2006, afin de disposer d'une solution commerciale en 2008.

Pierre Hardoin

Un site : <http://ieee1588.nist.gov>