

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

Master SAR

UE GRETR

Manuel GONZALEZ

Axel SEGUIN

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

Introduction

- Nécessité d'horloge temps réel dans l'industrie de plus en plus précis
- Exemples :
 - NFS
 - TDMA
 - Fourniture d'eau
 - Fourniture d'énergie

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- **Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge**
- IEEE 1588
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

Concepts et problèmes de la synchro d'horloge

- Besoin d'un temps commun sans horloge partagée
- Dérive des horloges
- Synchronisation externe : horloge de référence
- Synchronisation interne : maintenir un groupe d'horloges synchronisées
- Temps de transmission des messages sur le réseau

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- **IEEE 1588**
- Les autres approches
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

IEEE 1588

- Objectifs
- Principes (fonctionnement de la synchronisation)
- Les différents messages
- Election du maître
- Les différents états
- Les messages de gestion

IEEE 1588

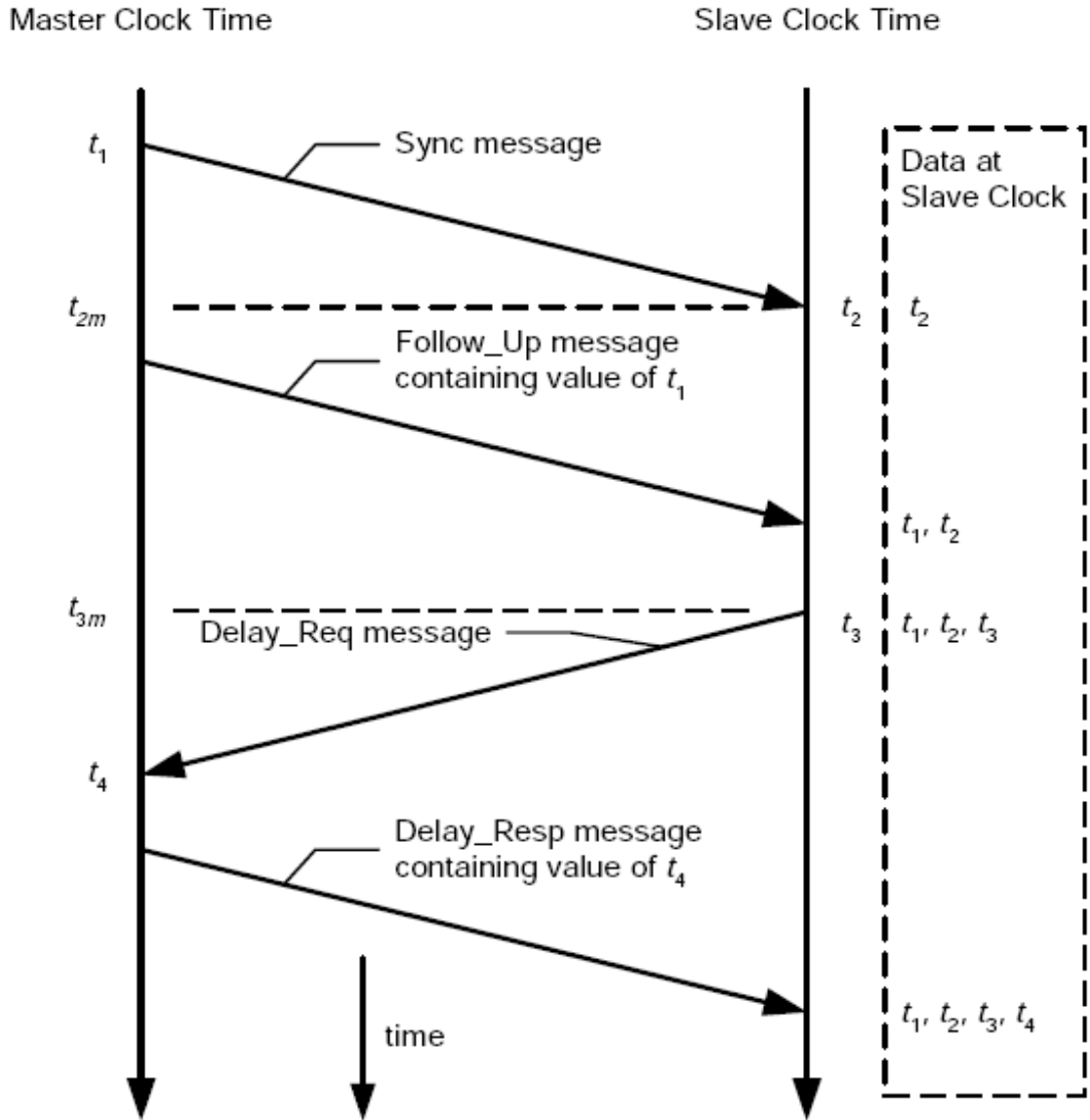
Objectifs

- Synchronisation submicroseconde d'horloges RT sur un réseau
- Destiné à des réseaux locaux supportant le multicast
- Installation simple sans administration
- Gère un ensemble d'horloges hétérogènes
- Peu de ressources sur les hôtes et le réseau

Principes

- Un maître sur lequel se synchronisent les esclaves
- Echange de messages périodiquement
 - Le maître envoie SYNC en multicast
 - Le maître envoie FOLLOW_UP
 - L'esclave envoie DELAY_REQ
 - Le maître envoie DELAY_RESP

Principles



Principes

Décalage apparent

- SYNC et FOLLOW_UP : mesurent le décalage apparent entre 2 horloges

diff_ME = réception esclave – émission maître

$$= t_2 - t_1$$

diff_ME = dérive + ME délai transmission

- Exemple :

11:30 – 10:00 = 90 minutes

Principes

Délai de transmission

- DELAY_REQ et DELAY_RESP mesurent le délai de propagation

diff_EM = réception maître – émission esclave

$$= t_4 - t_3$$

diff_EM = - dérive + EM délai transmission

- Exemple :

11:10 – 11:30 = -20 minutes

Principes

- 2 équations, 3 inconnues :
 - $ME_{diff} = \text{dérive} + ME \text{ délai transmission}$
 - $EM_{diff} = -\text{dérive} + EM \text{ délai transmission}$
- Donc (avec des délais de transmission symétriques) :
 - $\text{Dérive} = \{(ME_{diff} - EM_{diff}) - (ME \text{ délai} - EM \text{ délai})\} / 2$
 $= (ME_{diff} - EM_{diff}) / 2$
 - $\text{Délai} = (ME_{diff} + EM_{diff}) / 2$

Principes

Exemple

- Exemple :
 - Dérive des horloges 1 heure
 - Délai ME = 30 mins
 - Délai EM = 40 mins
 - ME_diff = 90 mins
 - EM_diff = -20 mins
 - Dérive = $\{90 - (-20)\} / 2 = 55$ minutes
 - Délai = $\{90 + (-20)\} / 2 = 35$ minutes

Les différents messages SYNC

- Envoyé par le maître
- Contient les propriétés de l'horloge
- Contient une estimation de l'heure d'émission
- Son heure de réception est notée
- Doit être identifiable sur le réseau afin que l'heure de réception soit la plus précise possible

Les différents messages

FOLLOW_UP

- Envoyé par le maître
- Toujours en association avec le message SYNC qui le précède
- Contient l'heure exacte d'émission
- Utilisé par l'esclave pour déterminer la dérive

Les différents messages

DELAY_REQ

- Envoyé par l'esclave
- L'esclave enregistre l'heure d'émission
- Le maître enregistre l'heure de réception
- Doit être identifiable sur le réseau afin que l'heure de réception soit la plus précise possible

Les différents messages

DELAY_RESP

- Envoyé par le maître
- Toujours associé avec le message DELAY_REQ qui le précède
- Contient l'heure exacte de réception du message DELAY_REQ
- L'heure qu'il contient est enregistrée par l'esclave

Election du maître

- Chaque horloge peut envoyer des SYNC messages
- A réception d'un message SYNC, un maître exécute l'algorithme BMC (Best Master Clock)
- Utilise les infos contenues dans le SYNC
- Switchs et routeurs peuvent être maître et esclave en même temps

Election du maître

Algorithme BMC

- Comparaison des données des différents maîtres :
 - Groupe préféré
 - Strate
 - Précision de l'horloge
 - Stabilité
 - Le plus proche
 - UUID

Les états

- PTP_INITIALIZING
- PTP_FAULTY
- PTP_DISABLED
- PTP_LISTENING
- PTP_PRE_MASTER
- PTP_MASTER
- PTP_PASSIVE
- PTP_UNCALIBRATED
- PTP_SLAVE

Messages de gestions

- Permettent d'accéder aux data sets de chaque horloge
- Permettent la modification de certains éléments
- Permettent de commander des changements d'états

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- **Les autres approches**
- Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande

Les autres approches

- 2 approches principales
 - Maître/esclave
 - Démocratique
- Autres approches:
 - Peer-to-peer
 - Client/serveur
 - Distribuée

Les autres approches

- Approche démocratique: SynUTC
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Horloge très précise
- Horo-datage des paquets
- Intervalle de temps

Les autres approches

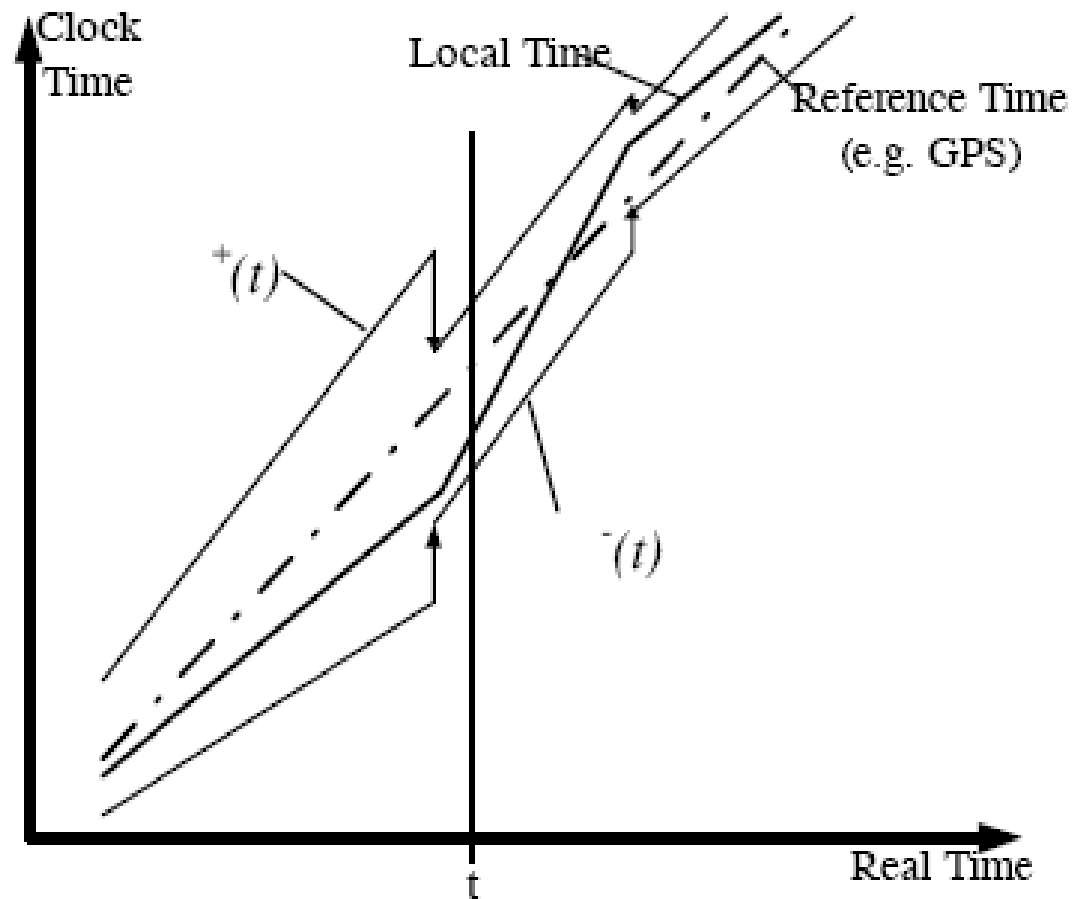


Figure 2: Basic issues of interval clocks and accuracy intervals. Local time follows the reference time within the accuracy bounds.

Les autres approches

- Approche peer-to-peer: NTP
- Protocole internet (RFC 1305)
- Précision de l'ordre de la milliseconde
- Structure pyramidale

Les autres approches

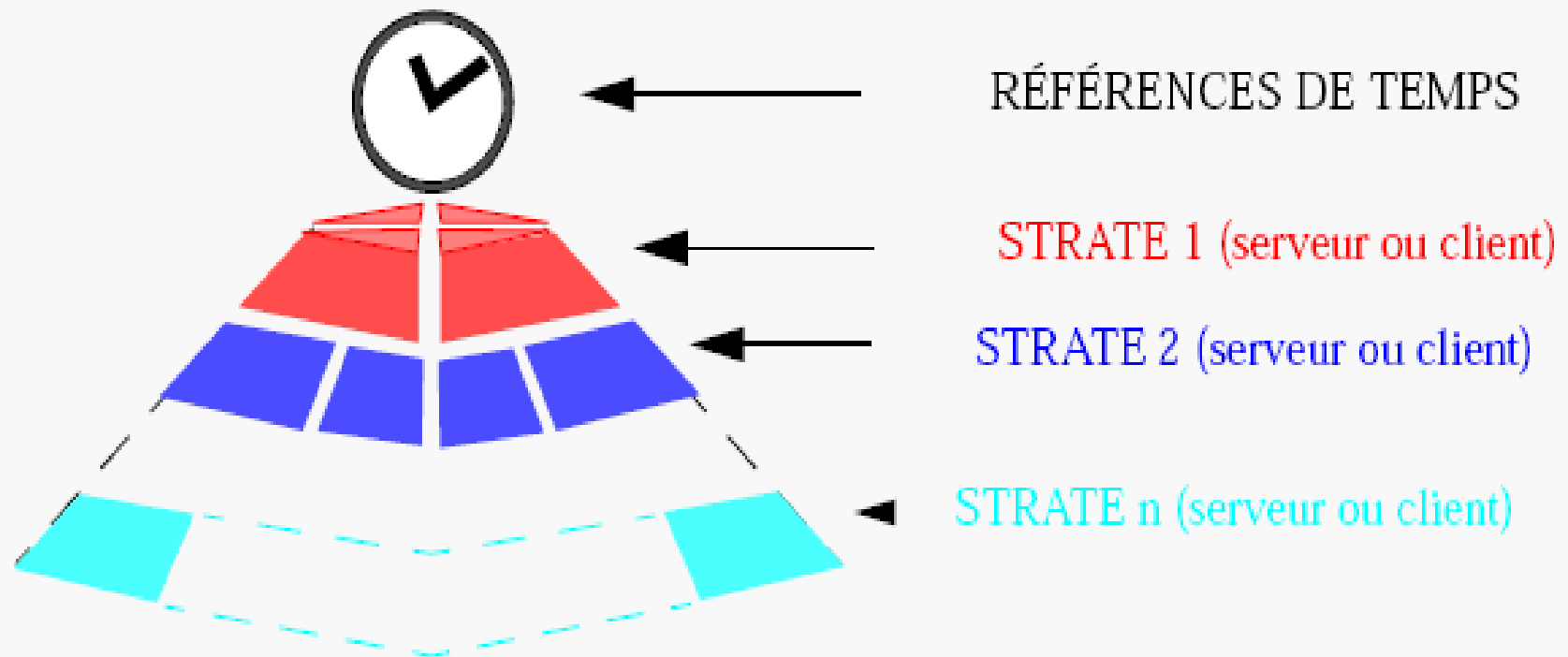
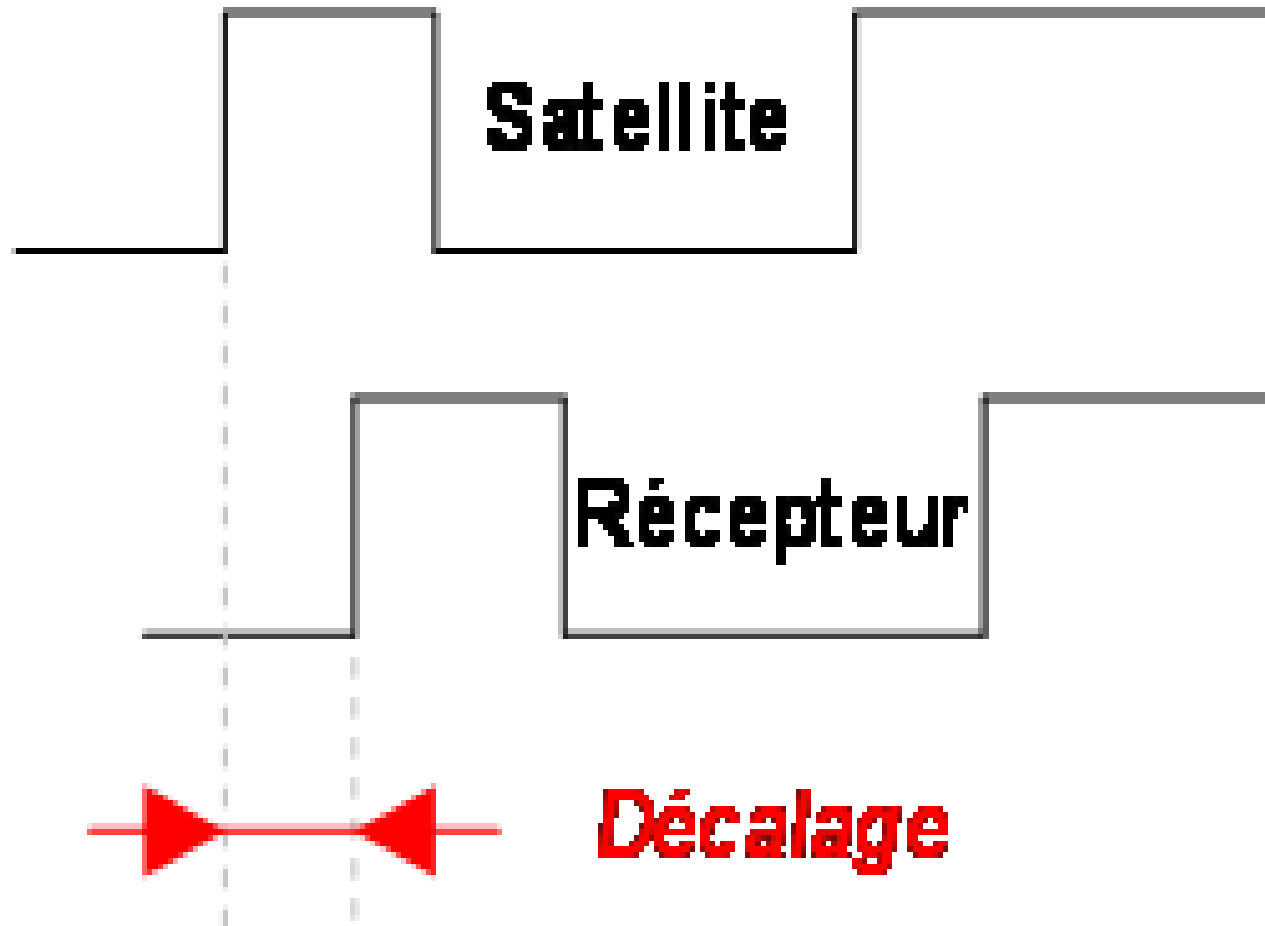


FIG. 1 - *Relations entre serveurs NTP*

Les autres approches

- Approche client/serveur: GPS
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Satellites possèdent une horloge atomique

Les autres approches



Les autres approches

- Approche distribuée: TTP
- Précision de l'ordre de la microseconde
- Protocole de la couche MAC
- Déterministe
- Tolérance aux fautes
- Horloge globale

Synchronisation d'horloge, Application à Ethernet RT

- Introduction
- Concepts et problèmes de la synchronisation d'horloge
- IEEE 1588
- Les autres approches
- **Application à Ethernet et aux systèmes contrôle-commande**

Application à ethernet temps-réel

- Ethernet et le temps-réel: problèmes/solutions
 - Indéterminisme dû à CSMA/CD
 - Asymétrie des délais

=>TDMA et le besoin de synchronisation
- Implémentation de la norme IEEE 1588 sur ethernet

Application à ethernet temps-réel

- Gestion de la tolérance aux fautes:
 - Panne d'un maître, d'un switch
- =>Groupes de maîtres, ...

Application à ethernet temps-réel

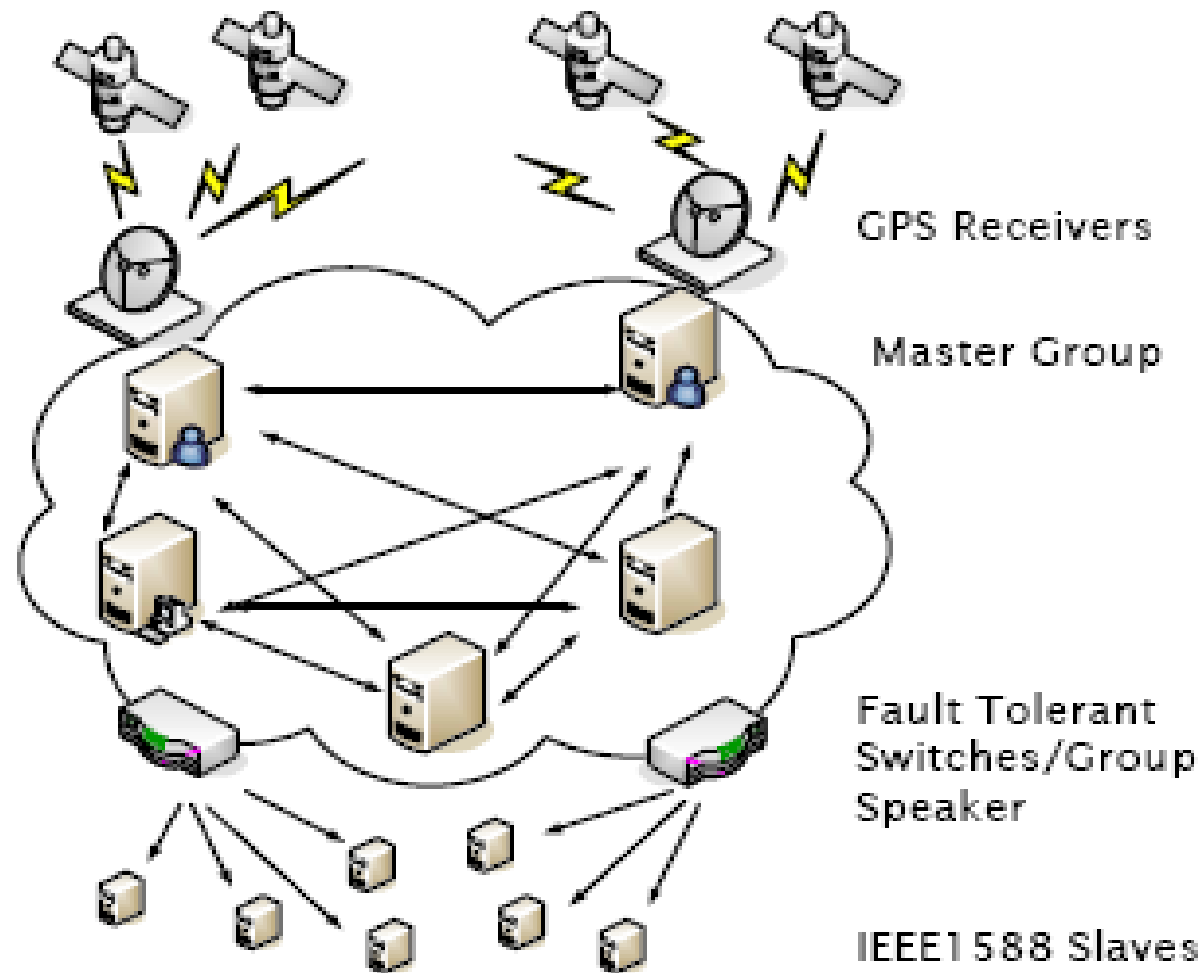


Figure 1. Master group concept

Application à ethernet temps-réel

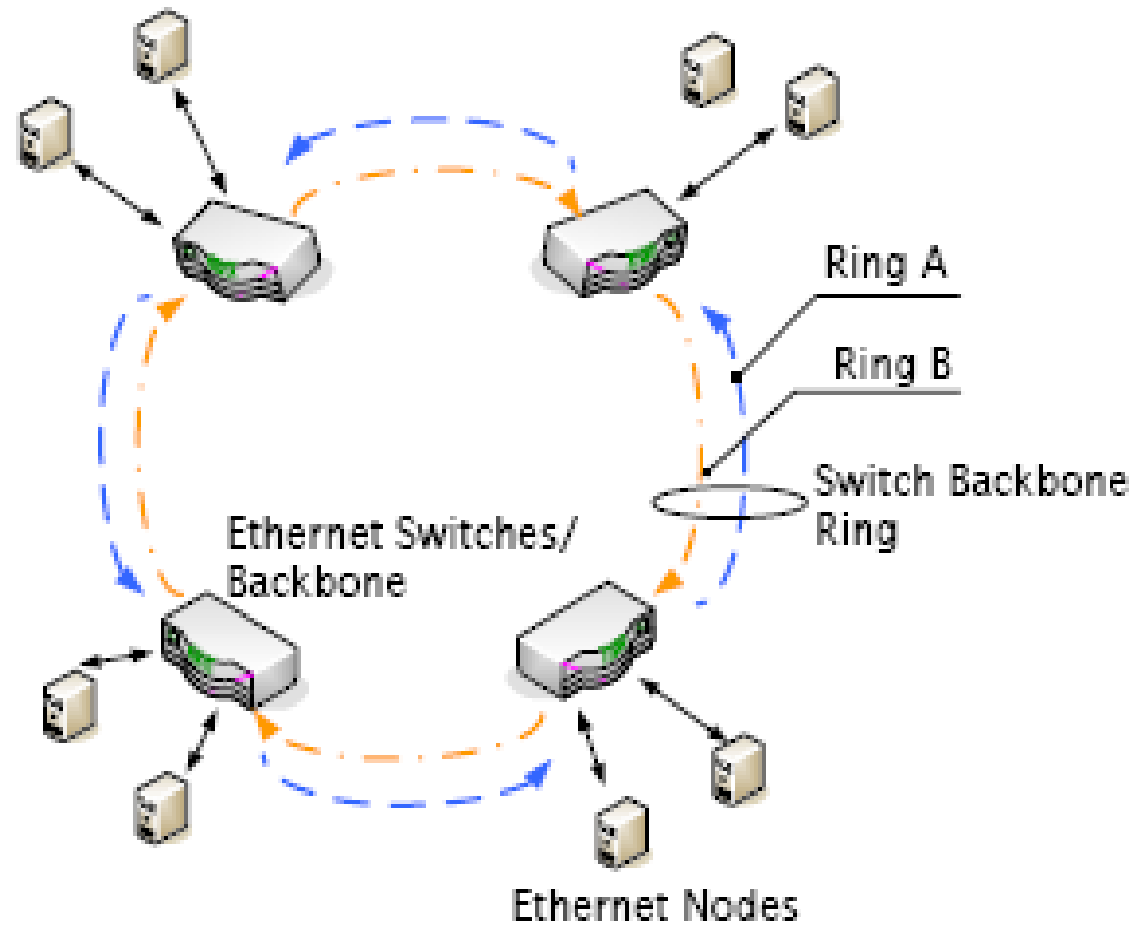


Figure 3. Inter-switch ring network [13]

Application aux systèmes de contrôle commande

- Nécessité de synchroniser les systèmes de contrôle:
 - Capteurs
 - Contrôleurs
 - ...
- Différents degrés de précision

Conclusion

Conclusion

- 2 types de synchronisation:
 - Interne
 - Externe
- Synchronisation en continu
- Problème de sécurité