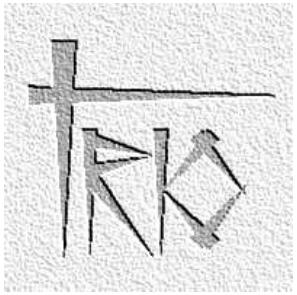


Services pour la sûreté de fonctionnement dans les réseaux X-by-Wire

Nicolas NAVET

INRIA Lorraine - projet TRIO

http://www.loria.fr/~nnavet

Certaines images de cet exposé proviennent de :

- **[1] Cours de P. Koopman (http://www.ece.cmu.edu/~ece540/lecture/)**
- **[2] Slides TTTech (http://www.tttech.com/)**
- **[3] Normes TTP v0.5 et 1.0**
- **[4] Slides FlexRay WorkShop 2002**

Sûreté de Fonctionnement (1/2)

- Définition : « C'est l'ensemble des propriétés qui permettent aux utilisateurs d'avoir une confiance justifiée dans le service qui leur sera délivré »
- Les attributs de SdF:
  - ✓ **Fiabilité**
  - ✓ **Disponibilité**
  - ✓ **Sécurité**
  - ✓ Intégrité
  - ✓ Maintenabilité
  - ✓ Confidentialité

Sûreté de Fonctionnement (2/2)

- Les entraves à la SdF:

  faute ⇨ erreur ⇨ défaillance du système

- Les moyens d'obtention de la SdF voulue:
  - ✓ **Prévention des fautes**
  - ✓ **Tolérance aux fautes** : détection d'erreurs puis traitement des erreurs (recouvrement, confinement, redondance)
  - ✓ Prévisions de fautes

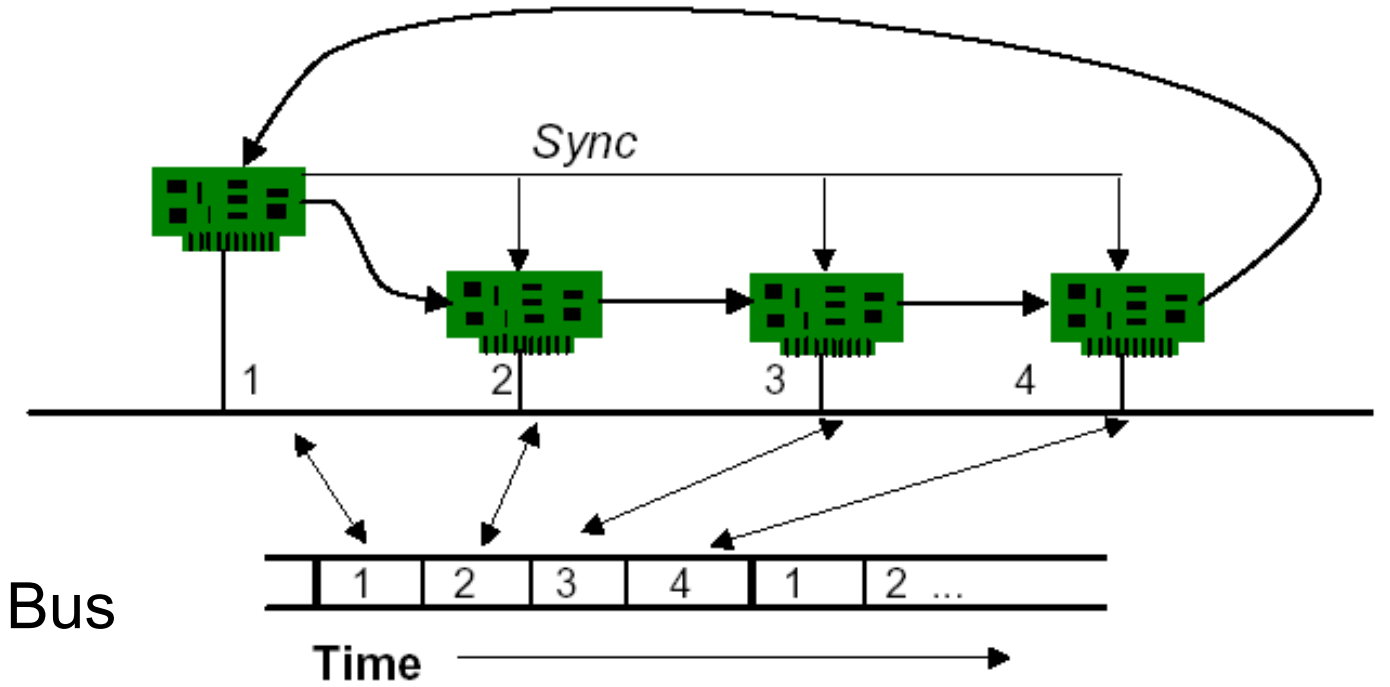
Présentation des protocoles TTP/C et FlexRay

TTP/C – Time Triggered Protocol

- Développé à la T.U. Vienne + TTTech
- 2 variantes : TTP/C et TTP/A
- Objectifs techniques:
  - Déterminisme
  - Tolérance aux fautes
  - Favoriser la « composabilité »
  - Support des changements de mode de marche

⇨ un bon candidat pour le X-By-Wire ..

TPP/C – MAC de type TDMA



- Un slot est un intervalle de temps durant lequel une station émet un message
- Un round TDMA est une séquence de slots t.q. chaque station parle exactement 1 fois

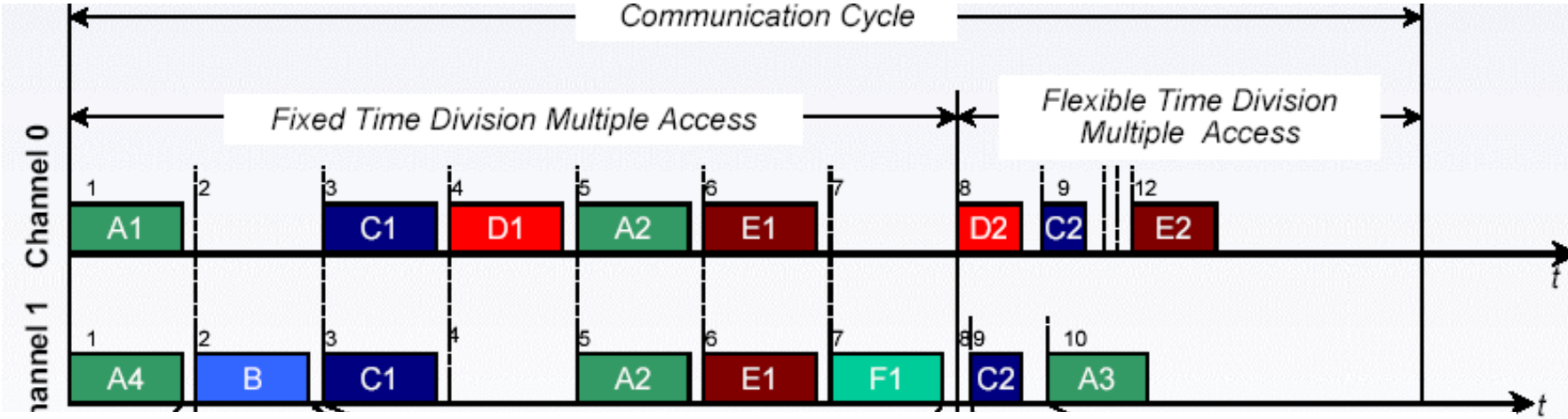
TTP/C – Implications du protocole MAC

Temps de réponse borné et « heart-beat » mais:

- Perte de bande passante !
- Nécessité de micro-contrôleurs puissants
- Contrainte de temps maximum:
  - Si une station émet une seule donnée, le rafraîchissement ne peut être plus fréquent que le temps d'un round
  - Si une station émet plusieurs données, le rafraîchissement ne peut être plus fréquent que 2x le temps d'un round

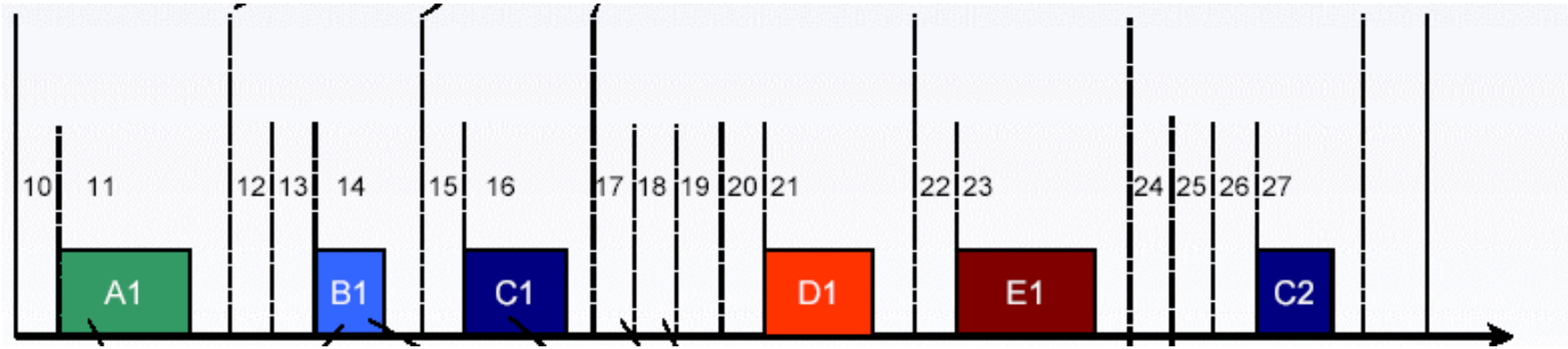
Ex: contrainte de 5ms - réseau à 500kbit/s avec 200 bits par trames - au plus 12 trames (6 FTUs redondantes) ou 6 trames si la station émet 2 données.

FLEXRAY – MAC de type TDMA + FTDMA



- 3 modes de fonctionnement: statique pure, dynamique pure, mixte statique/dynamique
- Partie statique: les slots ont tous la même taille (!= TTP/C)
- Partie statique: une même station peut obtenir plusieurs slots par cycle (jusque 16, != TTP/C)
- Partie statique: des slots peuvent être laissés libres pour des extensions futures (=TTP/C)

FLEXRAY – trafic dynamique (F-TDMA)



- Chaque station possède une ou des priorités uniques sur l'ensemble du système
- Des transmissions successives de la même trame peuvent être de tailles différentes
- Pas de retransmission si erreur (!= CAN)

➢Sous certaines hypothèses sur le trafic, il est possible de calculer des pires temps de réponse (= CAN)

Caractéristiques / Services influant sur la Sûreté de Fonctionnement

Analyse des protocoles selon le modèle:

- Couche physique
- Couche Liaison de Données
- Couche Application

Niveau Couche Physique

- Support de transmission : robustesse aux EMI, résistance aux torsions …
  - rien n'est imposé par les 2 protocoles
- Redondance des canaux
  - TTP/C: redondance sur tout le réseau, FlexRay : redondance partielle possible
- Topologie : bus, étoile ou multi-étoiles
  - grande souplesse pour les 2 protocoles
- Technique de codage
  - Dans TTP/C v1.0 rien n'est imposé, NRZ pour FlexRay

Niveau Liaison de Données (1/2)

- Détection d'erreurs de transmission / correction d'erreurs
  - CRC avec distance de Hamming de 6 pour les 2 protocoles
- Retransmission automatique en cas d'erreur de transmission
  - non pour les 2 protocoles (!= CAN), possibilité d'utiliser la partie dynamique pour FlexRay
- Détection d'erreurs protocolaires : erreur de communication, de synchronisation, de l'application
  - oui pour les 2 protocoles, + efficace pour TTP/C car signalement d'erreurs par les autres stations

Niveau Liaison de Données (2/2)

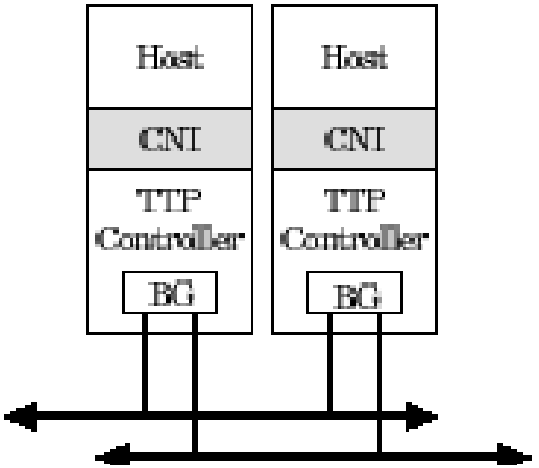
- Temps de réponse / gigues connues
  - oui avec les 2 protocoles
- Acquittement des données
  - TTP/C oui (différé), rien de prévu pour FlexRay
- Gardien de bus: respect des caractéristiques d'émission, «babbling idiot» avoidance
  - oui pour les 2 protocoles

Niveau Couche Application (1/2)

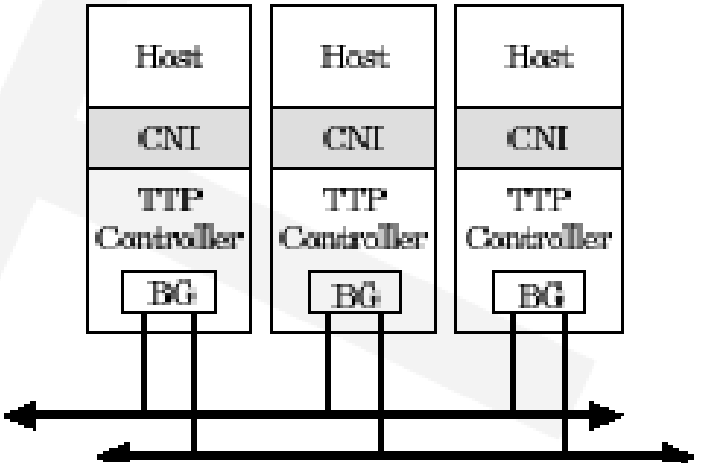
- Synchronisation sur une horloge globale
  - oui pour les 2 protocoles
- Support des changements de mode de marche
  - TTP/C oui, rien de prévu pour FlexRay
- Gestion des modes de veille
  - TTP/C non, FlexRay oui
- Support de la redondance calculateur
  - TTP/C oui mais … , FlexRay non mais possible partiellement

Support de la redondance calculateur

- FTU (Fault Tolerant Unit) = ensemble de stations qui effectuent exactement les mêmes actions



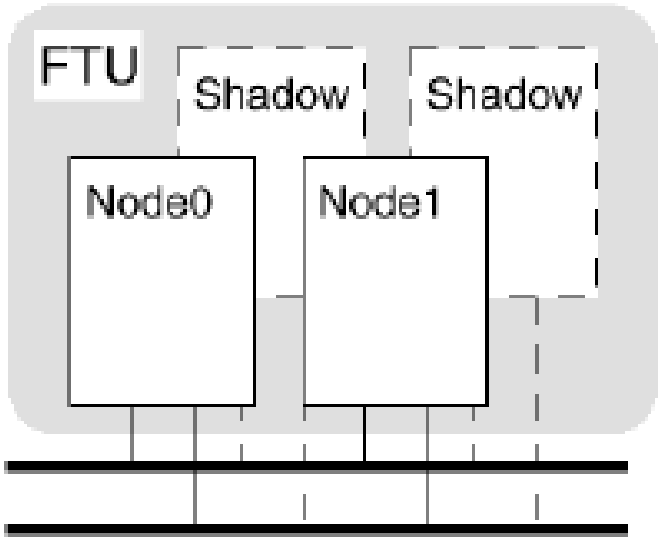
Redondance double



Redondance triple
(vote majoritaire possible)

FTU: 2 types de redondance

- Node « fantôme » (shadow SRU) : émet dans les slots d'une station active lorsque celle-ci devient défaillante - ne possède pas de slots propres



- Node « réplique »: possède un slot propre

FTU: qu'en attendre ?

- Protection contre:
  - disparition d'une station (crash, déconnexion..)
  - des transmissions corrompues par des EMI
  - des erreurs de mesure (capteurs) ou de calcul
  - …
- Sous l'hypothèse d'une défaillance unique (hypothèse de conception de TTP/C) :
  - une redondance double assure protection dans « le domaine temporel »
  - redondance triple assure en plus une protection dans « le domaine des valeurs »
- Problème TTP/C : « history-state» lors de la réintégration (pas de trafic dynamique)
- Problème FlexRay: rien de prévu pour stations fantômes

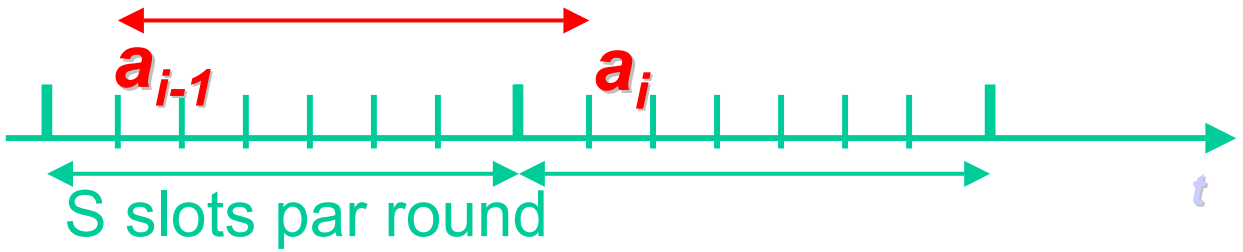
Niveau Couche Application (2/2)

- Connaissance de la vivacité des stations / évitement de cliques (= ensembles de stations ayant une vision ≠ des stations qui fonctionnent correctement)
  - TTP/C oui
    - Vivacité des stations: vecteur de Membership
    - Algorithme d'évitement de cliques

    mais règle de la majorité
  - FlexRay non .. mais implémentation éventuellement possible au niveau applicatif

TTP/C : la règle de la majorité

- Principe: pour éviter la formation de cliques, déconnexion des stations « minoritaires »
- Mécanisme: avant d'émettre, une station vérifie que dans le dernier round (S slots), le nombre de messages correctement émis est supérieur au nbre de messages incorrects, sinon déconnexion (« freeze »)



➢ En cas d'erreurs de transmission multiples: si une station « freeze » alors les stations s'arrêtent une à une ..

Conclusions – TTP/C vs FlexRay

- TTP/C :
  - + Nombreux services pour la SdF (mode de marche, redondance, membership, clique avoidance,…)
  - + Visiblement conçu pour la certification
  - - Comportement en dehors des hypothèses de fautes !? Ces hypothèses sont-elles les bonnes pour l'automobile ??
  - - Flexibilité / incrémentalité faible
- FlexRay :
  - + Conçu spécifiquement pour l'automobile (réutilisation soft. développé pour CAN, mode veille,…)
  - + Flexibilité (trafic dynamique, redondance non-obligatoire, …)
  - - Peu de fonctionnalités liées à la SdF (redondance, membership)
  - - Validation du protocole !

Références

- B. Gaujal, N. Navet, *Maximizing the Robustness of TDMA Networks with applications to TTP/C*, INRIA RR-4614, 2002. Disponible à l'adresse http://www.loria.fr/~nnavet
- TTA Group, *TTP/C specification v1.0*, Juillet 2002.
- Présentations effectuées lors du FlexRay Workshop 2002. Disponible sur le site http://www.flexray.com
- J.-C. Laprie, *Guide de la sûreté de fonctionnement*, Cépadues Editions, 1995.