

Ingénieur Civil des Mines
2ème année Conception Sûre des Systèmes Embarqués et Ambiants – Module SI342
2006 - 2007

Exercice

Faisabilité de messagerie dans un système embarqué distribué sur le réseau CAN

(Formules de Ken Tindell – Université de York)

Contexte

Actuellement, les systèmes embarqués dans l'automobile sont largement distribués. Les différentes fonctionnalités confiées à ces systèmes sont donc réalisées sous forme de logiciels s'exécutant sur des microcontrôleurs (appelés ECU – Electronic Control Unit) connectés sur un ou plusieurs réseaux. De tels systèmes sont spécifiés par les constructeurs automobiles et la réalisation des sous-systèmes est sous traitée à un ensemble d'équipementiers dont la fourniture est actuellement un ou plusieurs ECUs assurant la fonctionnalité du sous-système dont ils ont la charge. L'intégration de ces sous-systèmes est faite par le constructeur. Dans ce cadre, un point important est la garantie que les échanges de données entre ECUs, via les réseaux de communication, se fassent dans le respect de propriétés de performances imposées par l'application embarquée. On désignera, ici, sous le nom de *messagerie*, l'ensemble des messages échangés (en fait, des trames échangées) sur un réseau donné. Cet ensemble est connu et constant pour un véhicule.

Actuellement, le principal réseau de communication embarqué dans l'automobile est CAN (Control Area Network). Le protocole d'accès au médium de communication est de type CSMA avec résolution de collision. Le format de la trame est donné à la Figure 1.

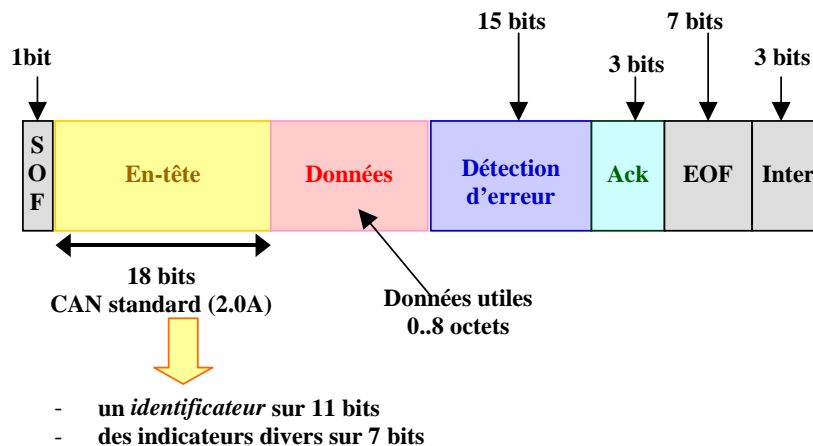


Figure 1: format simplifié d'une trame de données CAN

L'accès au médium repose sur le principe d'arbitrage bit à bit des identificateurs des trames émises simultanément. Le bit dominant étant 0 sur CAN, l'identificateur qui a la plus petite valeur est prioritaire.

Une messagerie est donc définie par l'ensemble des trames et, pour chaque trame :

- son identificateur m (unique sur le réseau),
- sa loi d'émission (généralement périodique) ; T_m est la période d'émission du message m
- s_m , la longueur des données utiles qui la constitue
- et la propriété à garantir sur cette trame, à savoir l'échéance relative sur son temps de réponse entre l'instant où elle devrait être émise par l'application localisée sur l'ECU émettrice et l'instant où elle arrive dans l'ECU réceptrice ; D_m est l'échéance relative du message m
- la gigue d'émission (J_m) ; en effet, les applications localisées sur chaque ECU sont sensées émettre une trame périodiquement, mais compte-tenu du fait que ces applications sont réalisées par des tâches partageant un même processeur, l'instant d'émission des données peut être retardé d'une durée qui doit être garantie bornée par les équipementiers ; ce retard est appelé « gigue » (ou *jitter*) et pour chaque message, il faut connaître sa gigue maximale.

La Figure 2 montre certaines caractéristiques d'un message m : T_m est la période d'émission du message m , D_m l'échéance du message m , t_i, t_{i+1}, t_{i+2} , les dates prévues de demande d'émission, J_m la gigue maximale et a_i, a_{i+1}, a_{i+2} , les dates réelles de demandes d'émission de ce message).

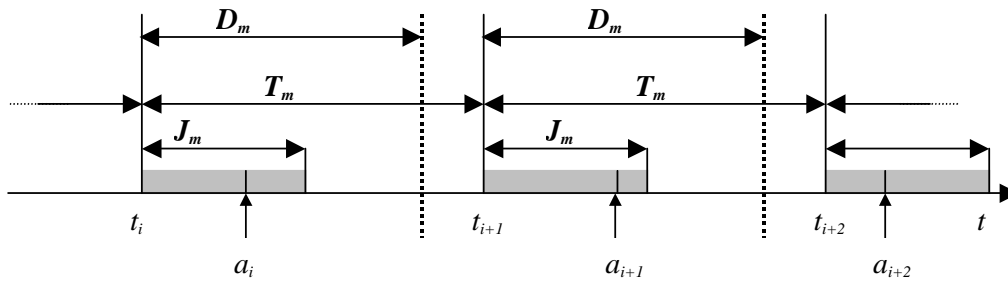


Figure 2 - caractéristiques temporelles d'une trame m

Problème à traiter

Dans le cas du réseau CAN et pour certains contrôleurs de communication, il est possible de calculer, pour une messagerie donnée sur ce réseau, le pire temps de réponse de chaque message et vérifier ainsi que chaque fois qu'un message est émis, celui-ci arrive à tout ECU consommateur avant son échéance. On considère le pire temps de réponse R_m du message m

$$R_m = J_m + w_m + C_m \quad \text{Eq. 1}$$

où :

- J_m est la gigue maximale de m ,
- C_m est la durée maximale que peut prendre la trame une fois qu'elle a gagné l'accès au médium (s_m est le nombre d'octets de données utiles et τ_{bit} , le « temps bit » égal à $1\mu s$. Pour un débit de 1Mbit/s.)

$$C_m = \left(\left\lceil \frac{34 + 8s_m}{4} \right\rceil + 47 + 8s_m \right) \tau_{bit} \quad \text{Eq. 2}$$

- w_m est le délai d'attente entre la demande de transmission et l'instant où elle gagne l'arbitrage ; celui-ci est donné par :

$$w_m = B_m + \sum_{\forall j \in hp(m)} \left\lceil \frac{w_m + J_j + \tau_{bit}}{T_j} \right\rceil C_j \quad \text{Eq. 3}$$

L'ensemble $hp(m)$ est l'ensemble des messages de priorité supérieure à celle de m (c'est-à-dire dont l'identificateur est plus petit)

B_m est le temps maximum où un message peut être bloqué par un message de plus faible priorité en cours d'émission ; $B_m = \max_{\forall k \in lp(m)} (C_k)$, avec $lp(m)$ l'ensemble des messages de priorité inférieure à celle de m

(c'est-à-dire dont l'identificateur est plus grand)

L'équation 3 se calcule par récurrence (la convergence a été montrée par ailleurs) :

$$w_m^0 = 0$$

$$w_m^n = B_m + \sum_{\forall j \in hp(m)} \left\lceil \frac{w_m^{n-1} + J_j + \tau_{bit}}{T_j} \right\rceil C_j, \text{ pour } n > 0$$

Programmez l'algorithme qui détermine si une messagerie est faisable et, si non, quels sont les messages qui peuvent rater leur échéance (la priorité d'un message m est inversement proportionnelle à $D_m - J_m$).

Donnez la complexité de cet algorithme.

- 1) Testez cet algorithme sur le jeu d'essai fourni en annexe (un signal par message)
- 2) Peut-on optimiser cette messagerie ? Si oui, comment ?

ANNEXE

SAE Benchmark

Cette étude de cas décrit la messagerie d'une application distribuée autour du réseau CAN au sein d'un véhicule dans le cas où on transmet un signal par message. Plusieurs ECU, dont le nom figure ci-dessous, réalisant des fonctionnalités données composent l'architecture du système :

- Battery
- V/C : vehicle controller
- I/MC: inverter/motor controller
- Ins: instrument panel display
- Driver: driver inputs
- Brakes: brakes
- Trans: transmission controller

Les signaux sont périodiques (*P*) ou sporadiques (*S*) ; pour ces derniers, la borne inférieure de l'intervalle entre deux arrivées successives remplace la période ; leur échéance est fixée à 20 ms.

Un fichier texte (*SAE.txt*) donnant les informations sur cette étude de cas, et qui sont utiles pour l'algorithme demandé, est disponible. Il contient :

- sur la première ligne, un entier donnant le nombre de messages,
- puis, pour chaque message, dans l'ordre :
 - une ligne donnant l'identificateur (entier)
 - une ligne décrivant le message sous forme de chaîne de caractères
 - une ligne donnant la taille du message en bits (entier)
 - une ligne donnant la gigue du message en ms. (double)
 - une ligne donnant la période du message en ms. (double)
 - une ligne donnant l'échéance du message en ms. (double)

La présentation de l'étude de cas est complètement décrite au dos de cette feuille.

Vous pouvez utiliser la classe de gestion de fichiers textes *Fichier.java* dont un mode d'emploi simple est donné ci-dessous :

```
...
Fichier F = new Fichier();           // créer l'objet fichier
...
String nomFichier = " .....";      // le nom externe du fichier
...
F.ouvrirFichierLecture(nomF);        // obligatoire avant toute utilisation,
//l'ouverture du fichier en lecture
...
int n = F.lireEntier();               // lecture d'un nombre entier dans le
// fichier
...
String s = F.lireChaine();            // lecture d'une chaîne de caractères
// dans le fichier
...
double x = F.lireDouble();            // lecture d'un double dans le fichier
...
F.fermerFichierLecture();             // fermeture du fichier dès qu'on n'en a
plus besoin
...
```

Liste des signaux et identificateur des trames les contenant par priorité décroissante (un signal = une trame)

<i>Identificateur</i>	<i>Description du signal</i>	<i>s_i (bits)</i>	<i>J_i (ms)</i>	<i>T_i (ms)</i>	<i>P/S</i>	<i>D_i (ms)</i>	<i>De</i>	<i>Vers</i>
1	Traction Battery Voltage	8	0,6	100	P	100	Battery	V/C
2	Traction Battery Current	8	0,7	100	P	100	Battery	V/C
3	Traction Battery Temp, Average	8	1	1000	P	1000	Battery	V/C
4	Auxiliary Battery Voltage	8	0,8	100	P	100	Battery	V/C
5	Traction Battery Temp, Max,	8	1,1	1000	P	1000	Battery	V/C
6	Auxiliary Battery Current	8	0,9	100	P	100	Battery	V/C
7	Accelerator Position	8	0,1	5	P	5	Driver	V/C
8	Brake Pressure, Master Cylinder	8	0,1	5	P	5	Brakes	V/C
9	Brake Pressure, Line	8	0,2	5	P	5	Brakes	V/C
10	Transaxle Lubrication Pressure	8	0,2	100	P	100	Trans	V/C
11	Transaction Clutch Line Pressure	8	0,1	5	P	5	Trans	V/C
12	Vehicle Speed	8	0,4	100	P	100	Brakes	V/C
13	Traction Battery Ground Fault	1	1,2	1000	P	1000	Battery	V/C
14	Hi&Lo Contactor Open/Close	4	0,1	50	S	5	Battery	V/C
15	Key Switch Run	1	0,2	50	S	20	Driver	V/C
16	Key Switch Start	1	0,3	50	S	20	Driver	V/C
17	Accelerator Switch	2	0,4	50	S	20	Driver	V/C
18	Brake Switch	1	0,3	20	S	20	Brakes	V/C
19	Emergency Brake	1	0,5	50	S	20	Driver	V/C
20	Shift Lever (PRNDL)	3	0,6	50	S	20	Driver	V/C
21	Motor/Trans Over Temperature	2	0,3	1000	P	1000	Trans	V/C
22	Speed Control	3	0,7	50	S	20	Driver	V/C
23	12V Power Ack Vehicle Control	1	0,2	50	S	20	Battery	V/C
24	12V Power Ack Inverter	1	0,3	50	S	20	Battery	V/C
25	12V Power Ack I/M Contr,	1	0,4	50	S	20	Battery	V/C
26	Brake Mode (Parallel/Split)	1	0,8	50	S	20	Driver	V/C
27	SOC Reset	1	0,9	50	S	20	Driver	V/C
28	Interlock	1	0,5	50	S	20	Battery	V/C
29	High Contactor Control	8	0,3	10	P	10	V/C	Battery
30	Low Contactor Control	8	0,4	10	P	10	V/C	Battery
31	Reverse and 2nd Gear Clutches	2	0,5	50	S	20	V/C	Trans
32	Clutch Pressure Control	8	0,1	5	P	5	V/C	Battery
33	DC/DC Converter	1	1,6	1000	P	1000	V/C	Battery
34	DC/DC Converter Current Control	8	0,6	50	S	20	V/C	Battery
35	12V Power Relay	1	0,7	50	S	20	V/C	Battery
36	Traction Battery Ground Fault Test	2	1,7	1000	P	1000	V/C	Brakes
37	Brake Solenoid	1	0,8	50	S	20	V/C	Brakes
38	Backup Alarm	1	0,9	50	S	20	V/C	Brakes
39	Warning Lights	7	1	50	S	20	V/C	Ins,
40	Key Switch	1	1,1	50	S	20	V/C	I/M C
41	Main Contactor Close	1	0,3	50	S	20	I/M C	V/C
42	Torque Command	8	0,2	5	P	5	V/C	I/M C
43	Torque Measured	8	0,1	5	P	5	I/M C	V/C
44	FWD/REV	1	1,2	50	S	20	V/C	I/M C
45	FWD/REV Ack,	1	0,4	50	S	20	I/M C	V/C
46	Idle	1	1,3	50	S	20	V/C	I/M C
47	Inhibit	1	0,5	50	S	20	I/M C	V/C
48	Shift in Progress	1	1,4	50	S	20	V/C	I/M C
49	Processed Motor Speed	8	0,2	5	P	5	I/M C	V/C
50	Inverter Temperature Status	2	0,6	50	S	20	I/M C	V/C
51	Shutdown	1	0,7	50	S	20	I/M C	V/C
52	Status/Malfunction (TBD)	8	0,8	50	S	20	I/M C	V/C
53	Main Contactor Acknowledge	1	1,5	50	S	20	V/C	I/M C

On considère un réseau dont le débit est de 512 Kbits/s (soit $\tau_{bit}=2 \mu s$)