

ODOMETRIE DOPPLER A BASE DE TMS320C30

O.Besson,F.Malavaux

ACELEC, ZI Boulazac 24750 PERIGUEUX

RÉSUMÉ

Cet article présente la mise en oeuvre et les performances d'un système temps réel de mesure de la vitesse d'un véhicule par traitement numérique de signaux de radar Doppler. Basé sur le processeur de traitement du signal 32 bits virgule flottante TMS320C30, il estime la vitesse par application de méthodes d'analyse spectrale paramétrique sur le signal délivré par un radar embarqué à bord. Nous présentons une campagne d'essais réalisés à bord d'un train et qui montrent que la précision de ce système est de l'ordre de 3/1000.

I. INTRODUCTION

L'objet de cet article est de présenter la mise en oeuvre et les performances d'un **système embarqué mesurant en temps réel la vitesse d'un véhicule par radar Doppler**. Ce projet, initié dans le domaine ferroviaire et étendu à l'automobile, vise en effet à déterminer de façon fiable et précise la position d'un train sur un réseau et ce, sur de longues distances, de façon à améliorer la sécurité du trafic et à pouvoir prévenir d'éventuels accidents. Dans le domaine automobile, l'optique est différente; il s'agit plutôt de mesurer les performances en termes de vitesse-accélération d'une voiture. Jusqu'alors, il existait des méthodes de calcul de la vitesse mais aucune d'entre elles

¹ Le travail de thèse d'Olivier BESSON a été effectué au laboratoire du GAPSE/ENSEEIHHT sous la direction de F. CASTANIE.

ABSTRACT

This paper presents the real time implementation of a vehicle speed estimator based on Doppler radar digital signal processing. This system is designed to provide a foolproof estimation of vehicle position over long distances. Based upon the 32 bits floating-point Digital Signal Processor TMS320C30, it estimates Doppler frequency from an on-board radar by means of parametric spectral analysis methods. Some results from real time measurements are presented that show the system relative accuracy is about 3/1000.

n'était complètement satisfaisante en termes de précision ou de fiabilité. A titre d'indication, on utilise pour les trains une roue "compte-tours" non défreinée; ce système, relativement fiable, n'est pas assez précis dans le cas d'accélération ou de décélération (problèmes de glissement). Une étude a donc été menée¹ pour proposer un nouveau système et nous présentons ici les résultats obtenus.

II. LE SYSTEME

a) Radar. Effet Doppler

L'idée de ce système est d'utiliser un **radar Doppler**, embarqué à bord du véhicule et qui vise la voie. Dans le cas du train, où l'on a une excellente stabilité, un seul radar est utilisé. Par



contre, pour une automobile, un montage en Janus, utilisant deux radars est utilisé pour remédier aux problèmes de variations d'assiette longitudinale.

Si l'on note $s(t) = u(t) \cdot e^{j\omega_0 t}$ le signal émis par le radar et v la vitesse radiale du véhicule, alors le signal reçu s'écrit:

$$Au(t - \tau) e^{-j\phi} e^{j\omega_0 \left(1 + \frac{2v}{c}\right)t}$$

Après démodulation, on récupère donc un signal dont la fréquence de battement, dite fréquence Doppler, est directement proportionnelle à la vitesse du véhicule:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda_0} = \frac{2v \cos \alpha}{\lambda_0}$$

où v désigne la vitesse du véhicule et α l'angle de visée. L'intérêt d'un tel système est qu'il est fiable, facile à intégrer sur un véhicule et insensible aux conditions d'accélération. De plus, estimer la vitesse revient à extraire la fréquence fondamentale du signal radar.

b) Configuration matérielle

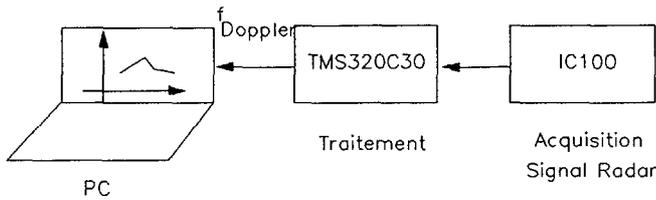
Le deuxième élément de ce système est le **bloc d'acquisition et de traitement du signal**. La première étape consiste à échantillonner et à quantifier sur 16 bits le signal radar. Se pose ensuite le choix du processeur de traitement du signal. Pour des raisons de précision sur les calculs et de stabilité numérique, nous avons choisi d'implanter un *processeur 32 bits virgule flottante TMS320C30*. Le temps de cycle de ce processeur (60ns) permet une puissance de calcul comparable aux processeurs virgule fixe avec une précision meilleure et l'assurance de reproduire en temps réel les performances des simulations. Le processeur TMS320C30 possède les caractéristiques suivantes:

- opérations en virgule flottante
- temps de cycle: 60 ns
- puissance de calcul 33MFlops
- 2 blocs RAM intégrés de 1K x 32 bits
- 2 timers 32 bits
- mémoire cache d'instructions de 34x32 bits
- données codées sur 32 bits (voire 40) pour les réels, 16 ou 32 bits pour les entiers.
- 8 registres étendus R0..R7 sur 40 bits pour les données
- 8 registres étendus AR0..AR7 pour les adresses
- cycle unique pour l'instruction multiplication/accumulation en virgule flottante

De plus, le processeur TMS320C30 possède son propre contrôleur de DMA qui fonctionne indépendamment de l'unité centrale. Ceci permet notamment de faire des acquisitions par DMA pendant que l'unité centrale traite les données; dans une configuration temps réel, on acquiert N points de signal par DMA et on traite en même temps les N points acquis précédemment. Le contrôleur de DMA fonctionne en mode "ping-pong"; chaque fois qu'il a acquis N points, il génère une interruption et change l'adresse à laquelle il va écrire les N points suivants; L'unité centrale quant à elle estime la fréquence Doppler puis va vérifier qu'il n'y a pas de problème temps réel, c'est-à-dire que le temps de traitement est bien inférieur au temps d'acquisition; Pour cela, on vérifie simplement que le contrôleur de DMA n'a pas généré une interruption avant la fin du traitement.

c) Exploitation des résultats

Un PC est chargé de récupérer les résultats c'est-à-dire les fréquences estimées et de les afficher selon un mode entré par l'utilisateur. Le synoptique du système est donc le suivant:



III. ESTIMATION DE LA FREQUENCE DOPPLER

Comme nous l'avons indiqué au I, estimer la vitesse du véhicule revient à extraire la fréquence du signal radar. Ainsi formulé, le problème est simple; malheureusement, le signal est perturbé par un bruit multiplicatif [1] et les méthodes classiques d'analyse spectrale telles la Transformée de Fourier se révèlent insuffisamment précises. On doit donc avoir recours à des méthodes dites haute résolution. De nombreuses possibilités existent pour traiter ce type de signal; méthodes temps-fréquence, méthodes paramétriques blocs, méthodes adaptatives, etc.. Si, en toute rigueur, le signal radar n'est pas stationnaire puisque sa fréquence évolue constamment au cours du temps, nous nous placerons toutefois sous l'hypothèse de stationnarité pour le signal. En effet, les variations de vitesse pour une voiture ou un train sont faibles sur une tranche de temps relativement courte. En tout état de cause, ces variations sont inférieures aux variances des estimateurs utilisés de telle sorte que vouloir les prendre en compte serait vain. De plus, nous avons fait le choix d'utiliser des **méthodes paramétriques blocs**, c'est-à-dire que la fréquence est estimée à partir d'un bloc de N points de signal.

Notre schéma d'estimation de la fréquence Doppler comprend donc **deux étapes**. La première consiste en une modélisation paramétrique du signal. Selon l'application envisagée, on utilise soit un modèle AR, soit un modèle ARMA. Dans le

premier cas, si l'on note $x(1)..x(N)$ les échantillons du signal, les paramètres AR sont obtenus par une *méthode des moindres carrés rapides*:

$$\begin{pmatrix} x_p & \dots & x_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{N-1} & \dots & x_{N-p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\alpha}_1 \\ \dots \\ \hat{\alpha}_p \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} x_{p+1} \\ \dots \\ x_N \end{pmatrix}$$

Soit

$$\underline{\hat{\alpha}} = -(X^H X)^{-1} X^H \underline{x}$$

La deuxième étape consiste, à partir des paramètres AR estimés, à calculer la fréquence Doppler. La méthode la plus classique consiste à estimer la fréquence comme l'argument du pôle le moins amorti. Néanmoins, cette méthode de calcul des pôles d'une fonction de transfert est lourde en temps de calcul et difficile à implanter en temps réel. Nous avons donc choisi d'utiliser des méthodes de *recherche de maximum du spectre*. Trois algorithmes ont été testés:

- algorithme de Brent: le but est de trouver la parabole la plus proche du spectre et d'estimer le maximum comme le maximum de la parabole
- algorithme de Newton: il s'agit par une procédure de Newton-Raphson de calculer le point qui annule la dérivée du spectre
- algorithme à base de FFT: on effectue une transformée de Fourier rapide des paramètres autorégressifs et on cherche le maximum.

Ces trois méthodes se sont révélées pratiquement équivalentes pour un nombre de points N élevé, les deux premières étant meilleures lorsque N est faible[1]. Néanmoins, la dernière méthode, à base de FFT, est très rapide donc intéressante dans une perspective temps réel.

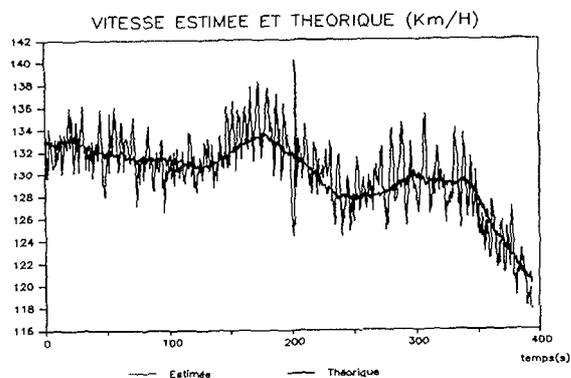
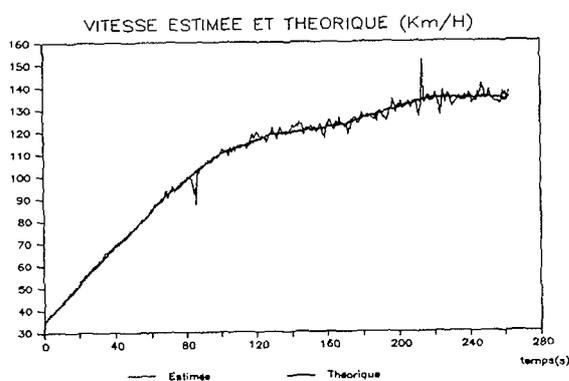


Après estimation de la fréquence, on peut directement avoir accès à la vitesse et, par intégration dans le temps, à la position du véhicule.

IV RESULTATS

Ce système a fait l'objet de nombreux tests "grandeur nature", que ce soit sur un train ou sur une voiture. Nous présentons ici les résultats obtenus lors d'essais effectués à bord d'un train sur une ligne commerciale. Nous disposions à bord d'une roue phonique que nous considérons comme une référence et par rapport à laquelle nous positionnons notre système. Les courbes qui suivent montrent :

- la vitesse estimée par notre système et la vitesse théorique au cours du temps
- l'erreur sur la distance estimée par le système et cumulée à partir du départ



Dans l'ensemble, nous avons constaté que notre système fournissait une **précision relative moyenne sur la distance de l'ordre de 3/1000**. Par contre, la variance sur l'estimation de la vitesse se situe aux environs de $4E-4$, ce qui explique les différences entre les courbes présentées ci-dessus.

V CONCLUSIONS

Nous avons présenté dans cet article un système temps réel de mesure de la vitesse d'un véhicule par traitement numérique de signaux de radar Doppler. Ce système fait appel à une technologie récente puisqu'il est basé sur un processeur 32 bits virgule flottante TMS320C30. De nombreux tests ont été menés qui ont permis de le valider et d'étalonner sa précision à 3/1000.

Bibliographie

- [1] O.Besson, "Analyse Spectrale Paramétrique et Modèles Multiplicatifs. Application aux signaux de radar Doppler" Thèse de doctorat de l'INP Toulouse, Janvier 1992

