



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 5236

To cite this document: Vincent, François and Berranger, Matthieu and Beaugendre, Guillaume and Pascaud, Romain *Contrôle d'un système de tir balistique*. (2011) In: Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CETSI 2011), 23-26 Oct 2011, Trois-Rivières, Canada.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr

Contrôle d'un système de tir balistique

F. VINCENT¹, M. BERRANGER², G. BEAUGENDRE³, R. PASCAUD⁴

Département d'Electronique Optronique et Signal, ISAE, 1, Place Emile BLOUIN, Toulouse.

¹francois.vincent,²matthieu.berranger,³guillaume.beaugendre,⁴romain.pascaud@isae.fr

RESUME : L'équipe électronique et traitement du signal de l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE) a développé une maquette de conduite automatique de tir. Celle-ci permet de tirer des billes jusqu'à 5 mètres de manière à atteindre une cible. Pour repérer cette cible, le système exploite un système sonar basé sur un émetteur et 2 récepteurs à ultrason. Le traitement du signal, permettant de calculer la distance et la direction de la cible, ainsi que le contrôle des moteurs, pour orienter le canon, sont à réaliser par les étudiants sous Matlab[®]. Ce projet s'adresse à des étudiants d'un niveau Licence ou première année de Master ayant les connaissances de base en traitement du signal et automatique. Ils travaillent par groupes de 4 de manière semi-encadrée pendant une vingtaine d'heures. Une grande part d'initiative personnelle est demandée aux étudiants pour mener à bien ce projet dans sa réalisation ainsi que la présentation des résultats. Outre l'aspect ludique évident, ce projet fait apparaître les liens entre les différentes disciplines de base de l'enseignement EEA et permet ainsi de les décloisonner.

Mots clés : conduite de tir, projet pédagogique, radar, sonar, tir balistique, ultrasons.

1 INTRODUCTION

Les différentes matières fondamentales liées à l'électronique (automatique, traitement du signal, électrotechnique, ...) sont souvent enseignées de manière totalement cloisonnée. Bien que beaucoup de notions soient identiques (fréquences, gains, ...), les notations et la terminologie diffèrent souvent suivant la matière. Les étudiants ne perçoivent donc pas toujours les similitudes ou les liens entre ces différents domaines. Ce cloisonnement des disciplines est souvent la cause d'un éloignement de l'enseignement avec les systèmes opérationnels qui utilisent ces notions. Les étudiants sont ainsi souvent en attente d'applications concrètes mettant en œuvre les notions abordées lors des enseignements théoriques.

Ainsi, pour compléter et illustrer les enseignements académiques, l'équipe d'enseignants en électronique et traitement du signal de l'ISAE a développé différents supports pédagogiques [1, 2, 3, 4] présentant des maquettes de systèmes exploités dans le monde civil ou militaire (guidage radar, régulateur de vitesse adaptatif pour automobile, contrôle d'un véhicule électrique, ...). Cette approche par la pratique permet ainsi de mettre en évidence les liens entre les enseignements théoriques qu'un ingénieur doit connaître en vue de réaliser un système complet. De plus cette approche expérimentale des sciences liées à l'électronique permet d'augmenter la motivation des étudiants par son aspect ludique.

Le nouveau projet décrit dans cet article est basé sur un système de conduite de tir parabolique de billes. Le but fixé aux étudiants est de contrôler les 2 servomoteurs permettant de diriger un canon de manière à atteindre un gobelet (cf. fig. 1). Pour cela,

le système dispose d'un émetteur et de 2 récepteurs à ultrasons permettant de créer un système sonar. Pour distinguer le gobelet cible des éventuels autres échos dus à l'environnement (sol, meubles, ...), le récipient est mis en mouvement. Celui-ci peut ainsi être dissocié des échos fixes grâce au changement de fréquence dû à l'effet Doppler. Lorsque le gobelet s'immobilise, la phase de poursuite se termine et le tir parabolique peut avoir lieu. L'émission du signal ultrasonore, le traitement des signaux reçus et le contrôle des servomoteurs est réalisé sous Matlab[®] par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition.

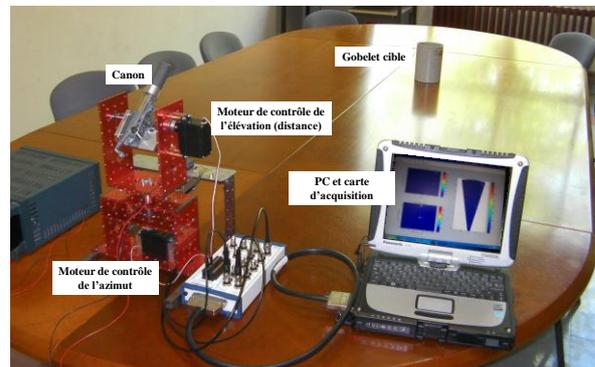


fig. 1 : Vue d'ensemble du système

2 DESCRIPTION DU SUPPORT PEDAGOGIQUE

La maquette de conduite de tir parabolique est composée de 3 parties principales :

- *Le Sonar :* Celui-ci est composé d'un émetteur et de 2 récepteurs à ultrason large bande de fréquence centrale 40 KHz (Prowave 400 WB16) ainsi que de 2 amplificateurs de réception à bande étroite autour de la fréquence

de résonance (fournis aux étudiants dans le cadre de ce projet). Cette partie n'est pas mobile et est fixée au châssis de la maquette. La principale tâche donnée aux étudiants consiste à générer le signal à émettre, numériser et exploiter les échos reçus sur les 2 voies de réception de manière à détecter la cible et mesurer sa distance et sa direction.

- *Le châssis* : Celui-ci supporte le système de tir permettant de lancer les billes et les 2 servomoteurs permettant de le mettre en rotation en élévation et azimut. Les étudiants doivent générer le programme permettant de contrôler ces 2 moteurs de manière à atteindre la cible.
- *Le système de tir* : Celui-ci est composé d'un moteur permettant de compresser et relâcher, de manière cyclique, un ressort. Ce dernier propulse la bille, par l'intermédiaire d'un poussoir, avec une force identique à chaque lancé. L'angle d'incidence du canon permet ainsi de régler la distance de tir. Les étudiants doivent déclencher le tir au moment opportun.

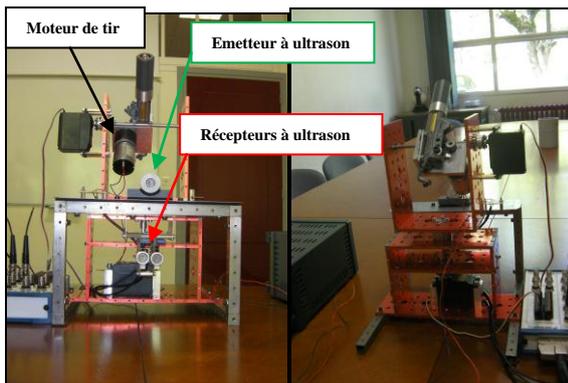


fig. 2 : Détails de la maquette

Ce système est contrôlé par un programme Matlab[®] que les étudiants doivent développer. L'interface entre le PC équipé de Matlab[®] et la maquette est réalisée par une carte d'acquisition National Instruments[®] NiDaq 6064E. Celle-ci permet d'envoyer le signal ultrasonore à émettre, recevoir les 2 signaux recueillis, actionner les servomoteurs ainsi que le moteur de tir.

3 PRE REQUIS

3.1 Pré requis généraux

Ce projet s'adresse aux élèves ingénieurs en fin de première année du cycle ingénieur. Ceux-ci possèdent les bases dans les domaines suivants :

- Electronique analogique (50 heures de formation: amplification, filtrage, oscillateurs)

- Systèmes/Traitement du signal (50 heures de formation: Laplace, Fourier, Bode, théorème de Shannon, transformée en Z, transformée de Fourier discrète, filtrage analogique et numérique)
- Automatique (30 heures de formation : modélisation et analyse des systèmes linéaires)

Les étudiants doivent avoir quelques connaissances de base sur la programmation sous Matlab[®] bien que ce projet puisse également être exploité comme support pédagogique pour l'initiation à Matlab[®].

Pour mener à bien ce projet, les élèves disposent de 20 heures réparties sur un mois. Le projet est divisé en séances de 2heures30 dont la moitié est encadrée. Les étudiants travaillent en groupe de 4. Ce projet débute par un bureau d'étude de présentation de la maquette et des objectifs à atteindre. Le but principal de cette première séance est de présenter de manière théorique le fonctionnement d'un système sonar à impulsion et modulation de fréquence. Les étudiants doivent être en mesure, à l'issue de cette première séance, de pouvoir choisir les paramètres fixant la forme d'onde (bande de fréquence, période de répétition, durée d'émission) et comprendre le traitement du signal associé comme présenté dans la partie suivante.

3.2 Fonctionnement d'un système sonar

3.2.1 Principe de fonctionnement

Un sonar est un système d'émission-réception d'ondes ultrasonores permettant de mesurer le temps de vol d'une onde acoustique dont la vitesse de propagation est connue ($c=340$ m/s dans l'air à 20°C) à l'image du système naturel d'écholocation d'une chauve-souris, comme illustré figure 3. Nous allons voir qu'il permet aussi de mesurer la vitesse des objets visés par l'intermédiaire de l'effet Doppler ainsi que la direction de la cible lorsque l'on possède plusieurs récepteurs.

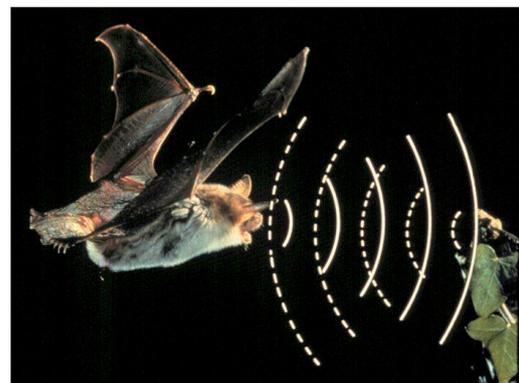


fig. 3 : Fonctionnement d'un système sonar

3.2.1 Mesure de distance

Pour ce faire, on émet un signal composé d'une série d'impulsions modulées linéairement en fréquence (chirp) comme illustré sur la figure 4. Au cours de chaque impulsion la fréquence varie linéairement de B Hz (bande du signal) autour de la fréquence centrale fixée ici à 40 KHz. Cette modulation de fréquence va permettre d'améliorer la précision de la mesure de distance. Elle est connue dans le domaine radar ou sonar sous le nom de compression d'impulsion. En effet, la résolution en distance d'un tel système (pouvoir de distinguer 2 objets proches) est de $\Delta d = \frac{c}{2B}$.

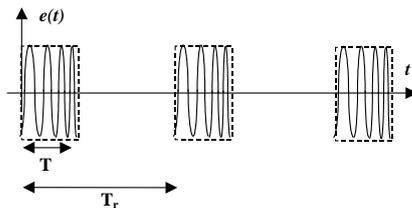


fig. 4 : Signal sonar émis

Le choix de la période de répétition T_r dépend de la distance maximale de visée (portée). En effet, si l'on choisit T_r trop faible, l'écho risque d'arriver après l'émission d'une nouvelle impulsion et la mesure sera ambiguë.

De même, il est difficile de détecter un écho provenant d'une cible trop proche et qui serait noyé par une impulsion. Ainsi la durée d'émission ne doit pas être trop importante pour éviter de masquer les objets proches.

3.2.2 Mesure de vitesse

La vitesse éventuelle de la cible entraîne une variation fine de distance à l'échelle de la longueur d'onde (λ). Ainsi, d'impulsion à impulsion, la phase de l'écho renvoyé par l'objet se décale proportionnellement à cette vitesse. La mesure de cette rotation de phase entre impulsion (appelée fréquence Doppler) permet de mesurer la vitesse radiale de la cible.

3.2.3 Mesure de direction d'arrivé

Si l'on dispose de plusieurs récepteurs, on peut également mesurer la direction d'arrivé du signal. En effet, si l'on suppose que l'onde reçue est plane, les 2 capteurs ne recevront pas l'onde en même temps en fonction de la direction de la cible comme illustré figure 5. La mesure du déphasage $\Delta\phi$ sur la fréquence porteuse entre les signaux reçus permet ainsi de mesurer cette direction azimutale.

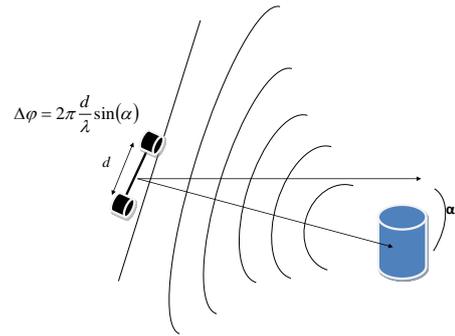


fig. 5 : Mesure de direction

4 TRAVAIL A REALISER

Suite à cette première phase théorique, les étudiants doivent concevoir les programmes permettant de remplir les différentes fonctions suivantes.

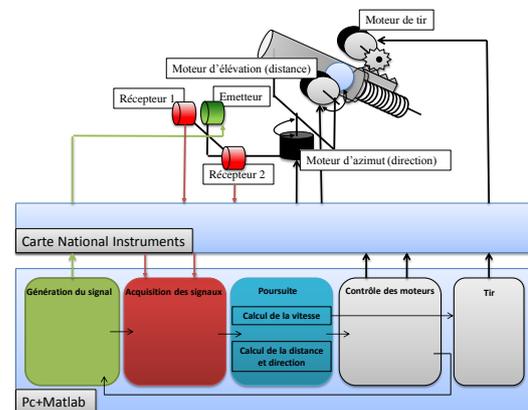


Fig 6 : Schéma fonctionnel des tâches à réaliser

4.1 Génération du signal

Les paramètres caractéristiques de la forme d'onde ayant été préalablement choisis, les étudiants doivent ensuite créer, sous Matlab®, le signal impulsionnel avant de l'émettre.

4.2 Numérisation des signaux reçus

Cette étape consiste simplement à acquérir les signaux sur les 2 voies de réception. Les étudiants doivent choisir la durée optimale d'acquisition de manière à pouvoir correctement estimer la position de la cible. Ce temps d'intégration ne doit pas être trop long vis-à-vis de la dynamique de la cible pour pouvoir la suivre à chaque boucle d'exécution du programme.

4.3 Poursuite

Cette phase est le cœur du programme. Son but est de détecter la cible mobile par l'effet

Doppler, estimer sa distance et sa direction comme expliqué dans la partie 3.2.

4.4 Contrôle des servo-moteurs

Cette tâche consiste à piloter les moteurs d'asservissement de manière à suivre la cible en direction et distance. Le calcul de l'angle d'élévation peut être déduit de la mesure de distance en inversant les formules de portée balistique ou bien pré calibré dans un tableau issu de mesures.

Le programme doit être exécuté en boucle jusqu'à ce que la cible s'arrête. Dans ce cas, le tir peut avoir lieu.

4.4 Exploitation pédagogique

La gestion du travail et le découpage des différentes tâches du projet sont laissés au libre choix de chaque groupe. Une bonne conduite du projet est donc essentielle pour aboutir à une réalisation qui fonctionne et éviter les malentendus entre les sous-équipes chargés chacune d'une fonction particulière. Les étudiants sont cependant guidés par la chronologie suivante :

1- *Etude fonctionnelle (2h30)*. Cette première étape permet de définir précisément les différentes fonctions à réaliser en chiffrant les objectifs de chacune d'elles et les informations qu'elles doivent échanger.

2- *Découpage du travail*. Après avoir chiffré la charge de travail nécessaire à la réalisation de chaque fonction, cette étape permet au groupe en charge d'un projet de se répartir les tâches.

3- *Réalisation des différentes fonctions (10 h.)*.

4- *Association des sous programmes et test de l'ensemble (5h.)*.

5- *Mesure des performances de leur système (2h30.)*.

6- *Rédaction d'un rapport technique résumant le travail réalisé*. Ce rapport est volontairement limité à 10 pages pour obliger les élèves à un travail de synthèse et de concision.

7- *Présentation devant un jury du travail réalisé*. Cette présentation de 15 minutes est suivie de 15 minutes de questions pour chaque groupe pendant lesquelles les étudiants doivent justifier leurs choix.

5 RETOUR D'EXPERIENCE

A l'issu des 20 heures de projet, la majorité des groupes en "compétition" a atteint l'objectif fixé même si la précision de tir n'est pas toujours parfaite. Les échecs éventuels leur permettent

cependant d'analyser les défauts du système et d'envisager des solutions plus robustes.

Outre l'aspect ludique de ce type de projet qui amplifie la motivation des étudiants, on observe une certaine prise de conscience sur la réalité concrète des notions de base en automatique ou en traitement du signal. En particulier, les aspects temps réel, les notions de filtrage, de Doppler, de longueur d'onde sont perçues de manière plus naturelle, ce qui complète leurs connaissances parfois trop théoriques. De plus, ce type de projet permet aux étudiants de prendre un peu de recul sur les enseignements académiques présentés de façon disjointe et comprendre les analogies et interactions entre ces différentes matières.

Enfin la démarche proposée laisse une grande initiative dans le choix de la solution. Les étudiants doivent ainsi poser le problème avant de le résoudre ce qui diffère grandement des exercices auxquels ils sont habitués lors des enseignements "classiques". Cette démarche de prise de décision est plus proche du travail qu'ils auront à accomplir dans leur futur métier d'ingénieur.

6 CONCLUSION

De manière à illustrer la conception d'un système embarqué complet (des capteurs aux actionneurs), nous avons développé une maquette de conduite de tir basée sur un système sonar. Ce prototype est exploité au cours de projets de 20 heures par des étudiants travaillant en groupe dans le but de mesurer la position d'une cible et l'atteindre par un projectile. Ce projet permet de décloisonner les différentes disciplines formant l'enseignement EEA et de montrer, de façon ludique, les interactions entre ces différentes disciplines. Contrairement aux Travaux Pratiques classiques, ce projet laisse une part importante d'initiative aux étudiants et essaye d'être représentatif de la démarche que doit avoir un ingénieur.

Bibliographie

1. B. Mouton, F. Vincent, C. Nouals. *Réalisation d'un RADAR de poursuite*. CETSIS 2003, Toulouse
2. F. Vincent, B. Mouton, C. Nouals. *Outil pédagogique pour l'analyse des systèmes d'imagerie RADAR*. CETSIS 2005, Nancy. Paru dans la revue J3eA – Vol. 4, Hors-série 2 – 32 (2005). EDP Sciences, 2005.
3. F. Vincent, B. Mouton, C. Nouals. *Maquette pédagogique pour l'enseignement des systèmes radar*. CETSIS 2007, Bordeaux. Paru dans la revue J3eA - EDP Sciences, 2008.
4. F. Vincent, B. MOUTON, C. Nouals. *Contrôle d'un kart électrique à 2 moteurs indépendants*. CETSIS 2008, Bruxelles