

Introduction

I. Quelques définitions sur l'acquisition et le traitement du signal : capteur, signal, système

Les notions de système, de signal et de capteurs sont indissociables.

Un capteur fournit un signal, qui est un vecteur d'information. Un système opère sur un signal et en modifie le contenu sémantique.

I.1. Signal

I.1.a. Définition

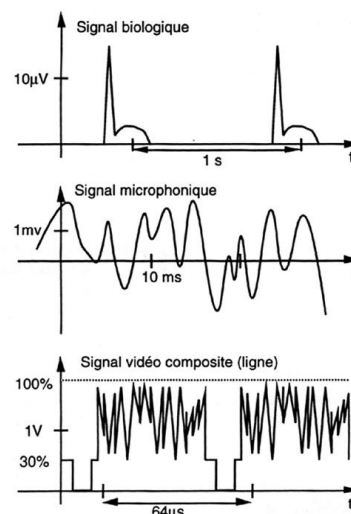
Un signal est une variation, en général en fonction du temps, d'une grandeur physique mesurable quelconque (acoustique, optique, électrique...) qui porte de l'information.

Un signal peut avoir un mode de propagation naturel (cas de la lumière et du son), mais on est le plus souvent conduit à le convertir en un autre type de signal, le plus souvent de nature électrique, pour lequel les techniques d'amplification et par suite de transmission et d'enregistrement sont particulièrement diversifiées et efficaces.

Le caractère "signal" est donc indépendant de la nature de la grandeur physique lui servant de support et uniquement lié à l'information qui est associée aux variations de cette grandeur. On peut donc dire qu'un signal est la représentation physique d'une information qu'il transporte de sa source à son destinataire.

Cette acception du mot "signal" ne recouvre pas tous les cas dans lesquels celui-ci est généralement employé. Dans l'usage, on appelle aussi signaux certaines grandeurs variables qui ne portent pas d'information sur l'évolution d'un processus, comme les signaux porteurs (destinés à être modulés par une grandeur effectivement informative) et les signaux d'horloge permettant l'organisation temporelle des informations.

Tout signal naturel est plus ou moins imprévisible, sa valeur à un instant donné est une surprise, on dit qu'il transporte de l'information. Un signal qui reste toujours identique à lui-même et est totalement prévisible ne nous apprend rien, il ne transporte pas d'information. S'il était possible de représenter par une fonction mathématique $v(t)$, si complexe soit-elle, la tension fournie par un microphone, on pourrait calculer ce que dira un conférencier dans une heure ou dans un an.



Exemples de différents types de signaux, obtenus à l'aide de divers capteurs

La modélisation mathématique d'un signal naturel est donc impossible ; on peut cependant en extraire certaines caractéristiques qui se conservent au cours du temps et permettent une prévision de nature statistique.

Il est pourtant nécessaire de connaître le comportement des systèmes que l'on construit vis-à-vis de ces signaux.

I.1.b. Signaux déterministes et signaux aléatoires

Dans ce but, on utilise des signaux test, qui ont des caractéristiques parfaitement connues. Ils sont classés en fonction de leur évolution temporelle en deux types fondamentaux :

- les signaux certains (ou déterministes) dont l'évolution en fonction du temps peut être parfaitement décrite par un modèle mathématique (par exemple, les signaux sinusoïdaux) ;
- les signaux aléatoires (ou probabilistes) dont le comportement temporel est imprévisible et pour la description desquels il faut se contenter d'observations statistiques (par exemple, le bruit blanc).

I.1.c. Bruit

On appelle bruit tout phénomène perturbateur gênant la perception ou l'interprétation d'un signal, par analogie avec les nuisances acoustiques. La différenciation entre le signal et le bruit est artificielle et dépend de l'intérêt de l'utilisateur : les ondes électromagnétiques d'origine galactique sont du bruit pour un ingénieur des télécommunications par satellites et un signal pour les radioastronomes.

Le bruit peut donc aussi bien être un signal déterministe (bruit à 50 Hz, créé par le réseau de distribution d'énergie électrique) qu'un signal aléatoire.

Le signal appelé bruit de fond, qui est dû à la structure corpusculaire de l'électricité et qui est présent dans tous les circuits électroniques est un signal aléatoire, ; il sera donc modélisé par des fonctions aléatoires et traité par les lois de la théorie des probabilités, aussi bien dans le domaine temporel (distribution en amplitude) que dans le domaine spectral (densités spectrales). Il est souvent considéré comme stationnaire et ergodique et de valeur moyenne nulle.

I.1.d. Classification morphologique des signaux

Les signaux physiques macroscopiques dont nous avons parlé précédemment sont définis à chaque instant et présentent des variations continues ; on les qualifie de signaux analogiques.

Depuis quelques décennies, on dispose de systèmes électroniques (CAN : convertisseur analogique-numérique) permettant d'échantillonner et de quantifier les signaux analogiques, les transformant ainsi en signaux numériques.

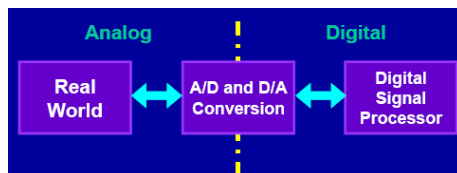
Ces derniers sont caractérisés par le fait qu'ils **ne sont définis qu'à des instants discrets** (appels instants d'échantillonnage), et qu'ils **ne peuvent prendre qu'un nombre fini de valeurs discrètes**.

Inversement, on dispose de systèmes (CNA : **convertisseurs numérique-analogique**) permettant de **reconvertir un signal numérique en signal analogique**.

Ces techniques ont permis d'**utiliser la très grande puissance des systèmes numériques** (câblés ou programmés) **pour traiter** (filtrer, transformer, ...) **des signaux** issus de processus ou phénomènes physiques, qui sont **par nature analogiques**.

Le numérique présente un grand nombre d'avantages par rapport à un contrôle de processus par un système analogique :

- **reproductibilité** ;
- **stabilité** (pas de dérive en temps ou en température) ;
- **adaptabilité** et souplesse d'emploi (modification du programme) ;
- **fiabilité** (circuits à très grande intégration, donc compacts et avec un minimum de connexions).



- ◆ 19" × 15" × 26"
- ◆ 500W
- ◆ 150 lbs
- ◆ \$8,500.00



Courtesy,
 Analogic Corporation
 8 Centennial Drive
 Peabody, MA 01960
<http://www.analogic.com>

Figure 1.17: 1954 "DATRAC" 11-bit, 50-kSPS Vacuum Tube ADC
 Designed by Bernard M. Gordon at EPSCO

In 1954 Epsco introduced an 11-bit, 50-kSPS vacuum-tube based ADC. This converter is believed to be the first commercial offering of such a device.

I.2. Capteurs

La **notion de signal** en physique est **indissociable de celle de capteurs**, encore appelés **transducteurs** ou « **senseurs** » (anglicisme formé à partir du mot anglais "sensor").

Un capteur, premier élément d'une chaîne de mesure, est un **organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique (information entrante) une autre grandeur physique de nature différente (généralement électrique) image de la grandeur d'entrée**, utilisable par l'homme directement ou par le biais d'un instrument approprié.

On peut citer ainsi l'existence de **capteurs de position, masse, temps, force, couple, pression, accélération, température, débit, humidité**, de toutes les **grandeurs électriques** ou **optiques**, etc.

Pour chacune de ces grandeurs, les **principes physiques utilisables** sont **multiples**.

Le développement de l'instrumentation électronique associée à des capteurs à sortie électrique s'explique par les avantages suivants :

- **la possibilité d'amplifier** considérablement le signal de sortie du capteur **permet de réaliser des mesures prélevant très peu d'énergie dans le milieu considéré (très grande sensibilité) et donc de minimiser les perturbations apportées** à ce même milieu **par la présence du capteur** (travail mécanique lors de la mesure de force, de déplacement ou de pression ; échange d'énergie thermique lors d'une mesure de température) grâce à l'utilisation d'amplificateurs à très forte impédance d'entrée et à résistance de sortie quasi-nulle ;
- **la possibilité d'effectuer des traitements (filtrage analogique ou numérique, utilisation de l'ordinateur pour traiter et stocker)** sur le signal en vue de l'améliorer ou d'en extraire des informations ;
- **les performances dynamiques** des deux opérations précédemment citées ;
- **la facilité et la vitesse de transmission** à distance (en particulier de façon guidée) d'un signal électrique ou électromagnétique ;

Les signaux considérés dans ce cours sont donc des grandeurs électriques variant en fonction du temps, obtenues à l'aide de capteurs.

I.3. Système

Un système est un **groupement d'éléments actifs organisés de façon à exécuter, sur ordre** (de façon automatique), **une fonction déterminée**.

Cette définition générale peut inclure sous le mot "éléments" la **présence d'homme aussi bien que de machines**. Elle englobe une **grande variété de systèmes** non seulement **physiques** (systèmes de télécommunications, chaînes d'acquisition de mesures, commandes de processus ...) **mais aussi économiques, biologiques, etc.**

Les systèmes d'acquisition remplissent des fonctions d'**interprétation des signaux (extraction des informations) ;**

- **filtrage** : élimination de certaines composantes indésirables ;

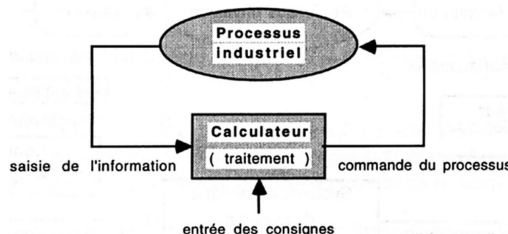
- **détection** : extraction du signal d'un bruit de fond ;
- **mesure** : estimation d'une grandeur caractéristique d'un signal avec un certain degré de confiance (valeur moyenne, etc.) ;
- **analyse** : isolement des composantes essentielles ou utiles d'un signal de forme complexe (transformée de Fourier)

II. Exemple de système d'acquisition et de transformation du signal

Système de contrôle/commande de processus industriels

Le système de traitement numérique, schématisé sur la figure ci-contre, va réaliser les opérations suivantes :

- acquisition des informations provenant du processus et fournies par des capteurs (chaîne d'acquisition des données) ;
- comparaison de ces informations avec les valeurs de consigne entrées par l'utilisateur ;
- calcul et envoi des signaux de commande au processus industriel suivant un programme de contrôle (régulation, filtrage numérique, etc.) pour atteindre le comportement cherché (chaîne de commande).



Contrôle/commande d'un processus industriel par un système de traitement numérique

Les grandeurs physiques (mouvement mécanique, variation de température, etc.) liées aux procédés physiques contrôlés mis en jeu doivent d'abord être transformées en signaux analogiques électriques (rôle des capteurs) puis convertis en grandeurs numériques (conversion analogique → numérique) ; les capteurs peuvent, dans certains cas, donner directement des valeurs numériques).

Inversement, la commande au niveau du processus est faite à l'aide d'actionneurs (moteur, vanne,...) qui transforment le signal analogique électrique reçu en grandeurs physiques (énergie mécanique, chaleur, etc.) ; celui-ci doit au préalable avoir subi une conversion numérique → analogique.

Outre les CAN (convertisseurs analogique → numériques) et CNA, des interfaces électroniques spécialisées intègrent également des échantillonneurs-bloqueurs, des multiplexeurs, des amplificateurs à gain programmable, des filtres anti-repliement, ...

Ces chaînes de pilotage seront étudiées dans le cours d'automatique ; nous nous intéresserons ici aux aspects d'acquisition des données (amplificateurs d'instrumentation, CAN, CNA), de filtrage, en particulier du point de vue de leur implémentation pratique.

L'implantation des circuits nécessaires apporte son lot de complications, de problèmes (bruit) et de surcoûts : conception et routage des circuits imprimés (prise en compte des problèmes de bruit), augmentation de la taille, incidences sur la fiabilité et la durée du cycle de développement.

Nous utiliserons donc principalement en TP les circuits PSoC de Cypress qui permettent de réaliser la totalité (analogique, numérique, CAN et CNA, microcontrôleur) d'une chaîne d'acquisition et de traitement dans un seul circuit intégré.

Objets connectés

Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs et d'une puce électronique qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local.

On distingue communément deux grands groupes d'objets connectés :

- les objets destinés à la collecte et l'analyse de données, dont la mission principale est de collecter et transmettre des informations ;
- les objets qui répondent à une logique de contrôle-commande et permettent de déclencher une action à distance.

Les capteurs installés sur ces objets connectés sont plus ou moins intelligents, selon qu'ils intègrent ou non eux-mêmes des algorithmes d'analyse de données, et qu'ils soient pour certains auto-adaptatifs.

III. Temps réel et temps différé

Temps réel

Le traitement est suffisamment rapide pour que la sortie suive le rythme de l'entrée : les échantillons du signal d'entrée sont pris au fur et à mesure que le processus fournissant ce signal s'exécute et la valeur traitée est disponible en sortie avant que l'échantillon suivant ne se présente à l'entrée.

Temps différé

Le traitement est réalisé "off-line", c.a.d que la donnée à traiter est d'abord stockée, puis elle est traitée ultérieurement.

Dans le cours de Traitement Numérique du Signal, les filtrages réalisés avec Matlab l'ont été en temps différé. Nous allons ici nous intéresser aux traitements temps réel.

IV. Organisation générale du cours

Contenu du module

Mots clés

Signal, bruit, amplificateur d'instrumentation, conversions A/N et N/A, filtrage analogique et numérique, chaînes d'acquisition de données, PSoC

Objectifs

Etre capable de mettre en œuvre une chaîne d'acquisition et de traitement du signal en choisissant ses différents éléments (amplificateurs, filtres analogiques et à capacités commutées, CAN et CNA, processeur) et en programmant des algorithmes de filtrage numériques simples.

Une partie du module sera illustré à l'aide des circuits PSoC de Cypress, qui regroupent dans une seul circuit tous les éléments nécessaires à la réalisation d'une chaîne d'acquisition et de traitement du signal

Plan

Introduction

Amplificateurs de mesure

Bruit de fond ; détection d'un signal dans un bruit

Couplages électromagnétiques

Filtrage analogique (filtres à capacités commutées)

Entrées / sorties analogiques : CA/N et CN/A

Circuits spécifiques : PSoC 5