

Traitement du Signal

Notes de cours

Edition du 09/11/2001

Copyright © 2001 Faculté Polytechnique de Mons



**Faculté Polytechnique
de Mons**

**Henri Leich - Thierry Dutoit
Faculté Polytechnique de Mons
TCTS Lab**

Ave. Copernic
Parc Initialis
B-7000 Mons
Belgium

Ph: +32 65 374774
Fax: +32 65 374729
Thierry.Dutoit@fpms.ac.be
<http://tcts.fpms.ac.be/~dutoit>

INTRODUCTION

I just wondered how things were put together.

Claude E. Shannon

Signal

Un signal est une *variation* d'une grandeur physique (le plus souvent électrique) qui porte de *l'information*¹.

On classe souvent les signaux les plus étudiés en fonction de leur origine. On trouve ainsi :

- Les signaux de télécommunications, qui transportent l'information par modulation avec une porteuse, le plus souvent aujourd'hui sous forme numérique). Ces signaux sont les plus simples à étudier, en ceci que, ayant été conçus par des ingénieurs, ils présentent des propriétés permettant de faciliter les opérations de modulation, de démodulation, etc.
- Les signaux géophysiques, tels que l'évolution de la température, de la pression, de la vitesse d'écoulement (etc.) de fluides terrestres, les signaux acoustiques, les ondes de vibration de l'écorce terrestre. Un cas particulier très important est l'image, variation de luminosité et de couleur perçue par l'appareil photo ou la caméra (aujourd'hui numériques).
- Les signaux cosmiques, tels les ondes captées par les radio-télescopes.
- Les signaux biologiques, mesurés à divers endroits du corps humain et renseignant sur son fonctionnement. On peut citer par exemple l'électrocardiogramme, l'électro-encéphalogramme, l'électro-oculogramme ou l'électro-myogramme.
- Les signaux de communication interpersonnelle, tels la parole ou l'écriture. A l'extrême opposé des signaux de télécommunications, ces signaux réalisent une modulation très complexe de l'information qu'ils portent. Le modulateur et le démodulateur sont en effet un cerveau humain.

On peut également classer les signaux en fonction de leur dimension. Ainsi, la plupart des signaux ci-dessus sont représentables mathématiquement par des fonctions d'une seule variable réelle. On les appelle donc signaux *mono-dimensionnels*. L'image, au contraire, est un signal bi-dimensionnel.

Il est également fréquent de classer les signaux en fonction de la connaissance que l'on peut en avoir. Bien que tous les signaux soient par essence

¹ La notion d'*information* intervient dans celle de *signal* afin de ne pas considérer comme signal une variation de grandeur physique portant, non pas de l'information, mais de l'énergie.

déterministes (ils sont tous créés par des causes physiques précises, bien que parfois non mesurables), on réserve en général le qualificatif de *déterministe* pour les signaux dont on peut expliquer l'allure temporelle. Les autres signaux sont qualifiés d'*aléatoire*.

La plupart de ces signaux (du moins ceux qui ont une origine naturelle) sont *analogiques* : ils peuvent être décrits par une fonction continue de la variable temporelle t et peuvent prendre a priori n'importe quelle valeur réelle. Il est donc logique que les machines permettant de créer ou de modifier ces signaux aient longtemps été elles-mêmes exclusivement analogiques. Le téléphone en est un bel exemple.

Depuis quelques décennies (tout au plus), on dispose de systèmes électroniques (CAN : convertisseurs 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 discrètes². Inversement, on dispose de systèmes (CNA : convertisseurs numérique-analogique) permettant de reconvertir un signal numérique en signal analogique. Cette brèche entre l'analogique et le numérique a ouvert la voie vers la mise au point de machines, numériques cette fois (c'est-à-dire basées sur l'utilisation d'un ordinateur) permettant de manipuler les signaux.

Traitement numérique du signal

Le traitement (numérique) du signal consiste en un ensemble de théories et de méthodes, relativement indépendantes du signal traité, permettant de créer, d'analyser, de modifier, de classer, et finalement de reconnaître les signaux. Il s'agit donc d'une science appliquée, puisque le signal numérique n'existe pour ainsi dire pas dans la nature. Il est une invention de l'homme, qui a pour but principal de permettre une manipulation aisée de signaux analogiques à l'aide de calculateurs numériques. Ses applications sont nombreuses dans des domaines aussi variés que les télécommunications, le traitement du son musical, le traitement de la parole, le radar, le sonar, l'étude des vibrations sismiques, le contrôle non destructif, l'ingénierie bio-médicale, l'imagerie, l'économie (avec l'étude des séries chronologiques), etc.

On peut estimer que cette science de l'ingénieur a réellement vu le jour dans les années 60, avec la découverte d'algorithmes rapides de calcul de la transformée de Fourier discrète par Cooley et Tukey. Les ouvrages de base ont été publiés entre la fin des années 70 et le début des années 90. Ce n'est que récemment, cependant, que les applications pratiques se sont multipliées, avec l'avènement des technologies numériques (RNIS-CD-GSM-DVD-MP3, etc.) et des processeurs spécialisés en traitement du signal (DSP : digital signal processor). On trouvera sur le site web du cours (<http://tcts.fpms.ac.be/cours/1005-03/>), outre des pointeurs vers divers sites et outils logiciels intéressants, les biographies d'un

² En pratique, évidemment, ces signaux numériques sont codés à l'aide de signaux analogiques, par *modulation numérique*. Dans le plus simple des cas, chaque échantillon est représenté à l'aide d'un nombre fini de bits (0 ou 1), et chaque bit est transcodé en analogique sous la forme de deux niveaux de tension. Le signal analogique sous-jacent est cependant toujours interprété comme un signal numérique.

certain nombre de chercheurs qui ont marqué de leur empreinte l'évolution de ce que l'on qualifie aujourd'hui de *révolution numérique*. La plupart sont toujours en poste.

Systèmes analogiques – Systèmes numériques

Les systèmes numériques possèdent sur leurs homologues analogiques un ensemble d'avantages décisifs :

- *Simplicité*. Les systèmes numériques sont intrinsèquement plus simples à analyser (et donc à synthétiser) que les systèmes analogiques. La récurrence linéaire qui caractérise un filtre numérique, par exemple, est accessible à un tout jeune enfant. Cette propriété des systèmes numériques est due en partie à l'adéquation parfaite entre simulation et traitement : *simuler un traitement numérique, c'est en faire*.
- *Possibilités de traitement accrues*. La simplicité des opérations numériques de base ne doit pas tromper : il s'ensuit qu'il est possible de réaliser, en numérique, des opérations beaucoup plus complexes qu'en analogique, notamment des opérations non-linéaires.
- *Robustesse aux bruits*. Les systèmes numériques sont par essence insensibles aux bruits parasites électromagnétiques. Le transcodage de l'information sous forme numérique joue un peu le rôle de « firewall ».
- *Précision et stabilité*. Puisque les seuls « bruits » sont liés à la précision des calculs, cette dernière dépend uniquement du calculateur utilisé ; elle est insensible à la température et ne varie pas avec l'âge du système.
- *Flexibilité*. Dans un grand nombre de systèmes numériques, le traitement est défini par un logiciel chargé en mémoire. Il est dès lors très facile de modifier ce traitement, sans devoir modifier la machine qui le réalise. On pense par exemple aux modems numériques actuels, qui peuvent s'adapter facilement aux normes futures par simple reprogrammation.

En marche vers l' « embarqué »

On assiste enfin aujourd'hui à une révolution plus silencieuse mais bien plus importante pour l'essor du traitement du signal : celle des réseaux informatiques et des *systèmes embarqués* (*embedded systems*). Les technologies sous-jacentes au traitement numérique des signaux (CAN-CNA-DSP) sont en effet devenues tellement bon marché que les objets qui nous entourent en sont progressivement équipés. L'ancien paradigme de l'unité centrale intelligente reliée à des périphériques se trouve ainsi balayé et remplacé par une myriade de petits calculateurs embarqués et dialoguant entre eux à l'aide de signaux portés par des réseaux informatiques. Les caméras et appareils photos numériques, lecteurs de MP3 portables, imprimantes autonomes, agendas électroniques, et GSM multimédia dont nous disposons aujourd'hui ne sont que la partie visible par le grand public de ce bouleversement en marche.