

Cours de Traitement Du Signal - Introduction

guillaume.hiet@rennes.supelec.fr

ESTACA

6 septembre 2007



Déroulement du cours

- Objectifs :
 - Savoir analyser et modéliser les principaux signaux
 - Appréhender les différentes approches : fréquentielle et temporelle
- 13 séances de 1H30 de cours magistraux
 - Introduction au Traitement (Numérique) du Signal
 - Concepts et notions essentiels
 - Formalisation et outils mathématiques (Transformées, Distributions...)
- 13 séances de 1h30 de Travaux Dirigés (papier et Matlab)
 - Application et approfondissement des notions présentées en cours
- Examen commun Laval / Levallois
 - 1 examen intermédiaire (coeff 1) début Novembre
 - 1 examen final (coeff 1) après Janvier

Plan du cours

- 1 Introduction
- 2 Définitions
- 3 Etude des signaux
 - Classification des signaux
 - Puissance et énergie
 - Signal aléatoire
- 4 Conclusion : objectifs du cours1

Références

Bibliographie

- HERMES - Signaux et systèmes en questions (D. DECLERCQ, A. QUINQUIS)
 - *Le signal déterministe*
 - *Le filtrage des signaux*
 - *Le signal aléatoire*
 - *Détection et estimation des signaux*
- HERMES - Traitement du signal
 - *Introduction au traitement du signal* - P. DUVAUT, A. MICHAUT, M. CHUC
 - *Traitement Linéaire du Signal Numérique* - F. TRUCHETET
- Traité d'électricité de l'EPFL
 - *VI Théorie et traitement des signaux* - F. de COULON
 - *XX Traitement Numérique des Signaux* - M. KUNT

Références

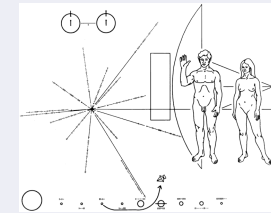
Sites INTERNET

- <http://www.ens2m.fr/tsa/sommaire.htm>
- <http://www.tsi.enst.fr/%7Eprado/enseignement/polys/matlab.html>
- <http://www.essi.fr/%7Eleroux/courssignal/courssignal.html>
- <http://www.eaeeie.org/ineit-mucon/gtr/tds2A/index.htm>

Introduction

Signal : une définition générale

- Latin *signum* : « Signe convenu »
 - ⇒ émetteur / récepteur
 - ⇒ perception / interprétation
 - ⇒ transport d'information
- Un exemple original : la recherche de vie extra-terrestre...
 - sonde Pioneer 10 (1972)



- projet SETI (<http://setiathome.free.fr/>)

Introduction

Bref historique

- XVII^{me} siècle Apparition de l'analyse numérique (NEWTON, GAUSS)
- 1822 Travaux de Fourier sur la propagation de la chaleur
- 1830 Télégraphe (Morse, Cook, Wheatstone)
- 1876 Téléphone (Bell)
- 1895-1896 Premières liaisons radio (Popov, Marconi)
- 1904-1907 Emergence de l'électronique
- 1920 Etude du débit d'information (Nyquist)
- 1930 Etude des signaux aléatoires (Wiener, Khintchine)
- 1949 Théorie de la communication (Shannon, Wiener)

Introduction

Bref historique

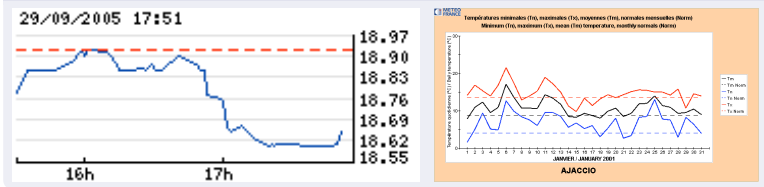
- 1950 Théorie de l'échantillonnage, TZ
- 1965 Algorithme de Cooley-Tukey
- 1970 Traitement signaux multidimensionnels
- 1975 Essort du TNS
- 1985 Progrès de la micro-informatique, techniques de Vie Artificielle
- Aujourd'hui : Présence des techniques de TDS dans la quasi totalité des activités humaines. Miniaturisation, essort des algorithmes de compression, du codage et du transport de données.

Signaux et systèmes : deux notions indissociables

Signal : une définition plus formelle

- Observation des fluctuations d'une grandeur physique, économique... relative à un phénomène (naturel ou technologique) qui joue le rôle d'un processus générateur
- Formalisation sous la forme d'une fonction $f(t, x, \dots)$

Exemples

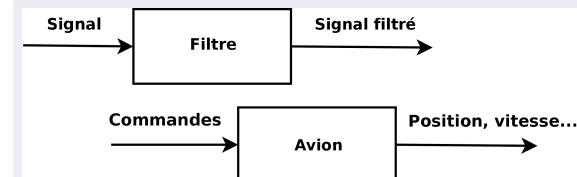


Signaux et systèmes : deux notions indissociables

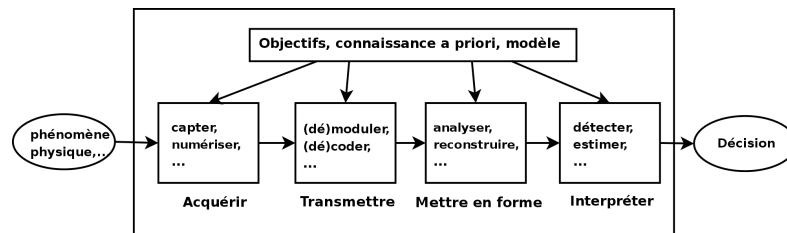
Notion de système

- Définition : Ensemble organisé de composants dont l'utilité est la réalisation d'une (ou de plusieurs) tâche(s)
 - grandeurs agissant sur la tâche $\Rightarrow$ signaux d'entrée
 - grandeurs caractérisant la tâche $\Rightarrow$ signaux de sortie
- Approche système : caractérisation de la loi Entrée/Sortie

Exemples



La chaîne de traitement du signal



Définition

Traitement du Signal : Théorie permettant d'effectuer une description (modélisation) et une analyse des signaux et systèmes.

Un petit exemple : reconnaissance de la parole

Objectif et connaissance *a priori*

- Objectif : reconnaître automatiquement des mots (commande), un texte lu...
- Caractéristiques de la voix (homme, femme, enfant...), de la langue, de l'environnement (bruyant...)...

Acquisition

- Capter (microphone) : bande passante, dynamique, directivité...
- Filtrer : élimination du bruit, anti-repliement...
- Numériser, échantillonner

Transmission

- Codage de source : compression
- Codage de canal : code correcteur d'erreurs

Mise en forme

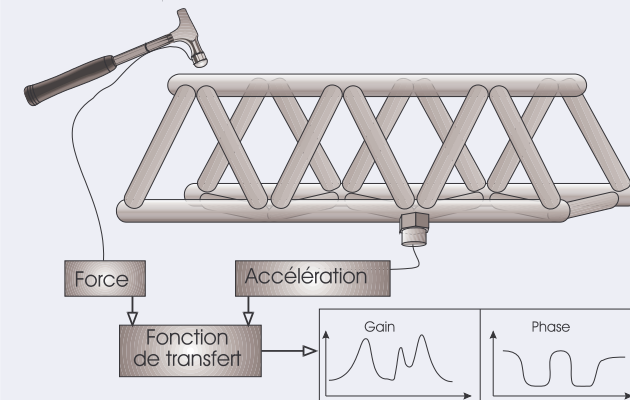
- Extraction d'éléments (syllabes, mots...)
- Analyse fréquentielle
- Filtrage...

Interprétation

- Reconnaissance des mots (comparaison...)
- Interprétation du message
- Prise de décision (commande...)

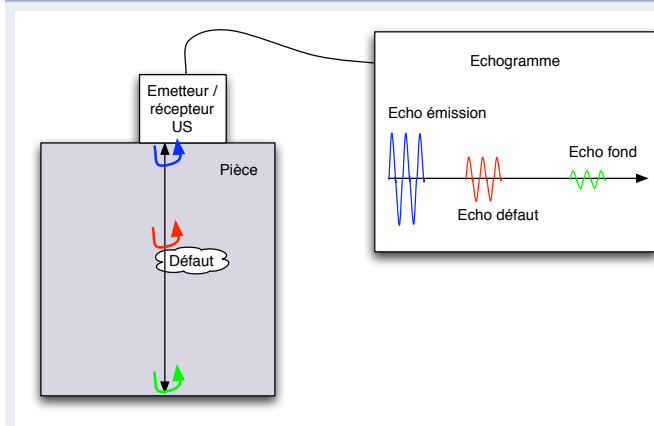
Traitement du Signal en Mécanique

Exemple 1 - Analyse Modale



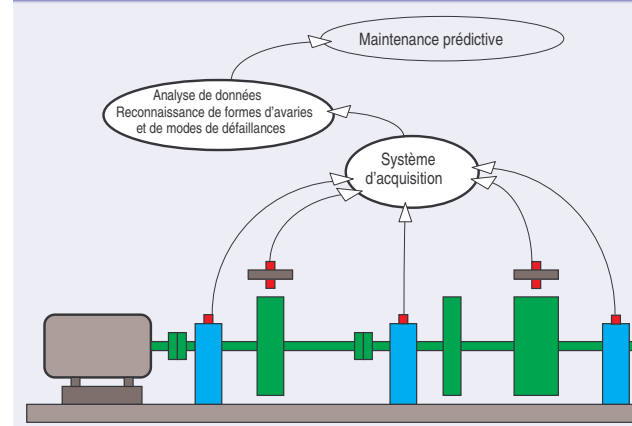
Traitement du Signal en Mécanique

Exemple 2 - Contrôle non destructif

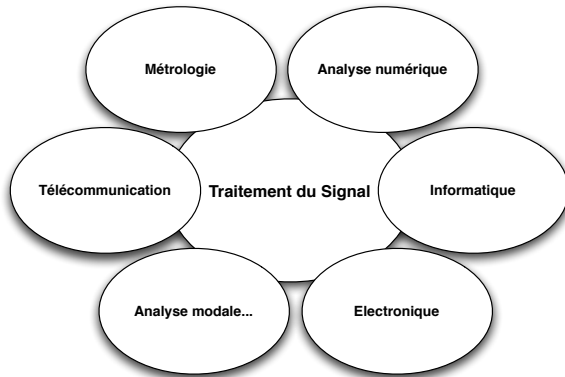


Traitement du Signal en Mécanique

Exemple 3 - Suivi et diagnostic des machines



Disciplines connexes



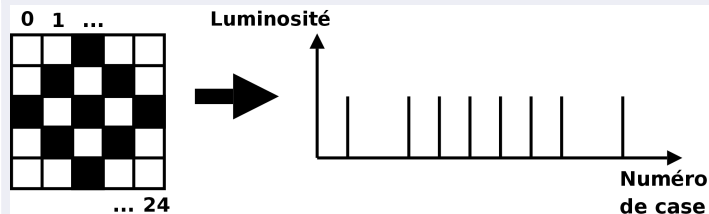
Traitement Numérique du Signal (DSP)

- Large diffusion des techniques de TDS
- Utilisation dans différents secteurs :
 - télécommunication
 - électronique (grand public)
 - automobile
 - spatial
 - militaire
 - industrie...
- Prédominance du numérique (DSP) depuis les années 80
 - + performance / coût
 - + reproductibilité des dispositifs
 - + robustesse (parasites, vieillissement...)
 - + paramétrage...

Définition : rappel

- Fluctuation d'une grandeur en fonction de paramètres (temps...)
- Observation d'un phénomène
- Processus générateur / échange d'information

Un exemple...



Signaux certains / signaux aléatoires

- Signal certain : résultat d'une observation
 - ⇒ hypothèse : phénomène déterministe
- Signal « aléatoire » : plusieurs observations...
 - ⇒ résultats différents...
 - ⇒ impossibilité de prédire de façon certaine
 - Exemple : le bruit

Partie utile / partie bruitée

- $x(t) = u(t) + p(t)$
- $u(t)$ partie utile (information)
- $p(t)$ perturbation, bruit

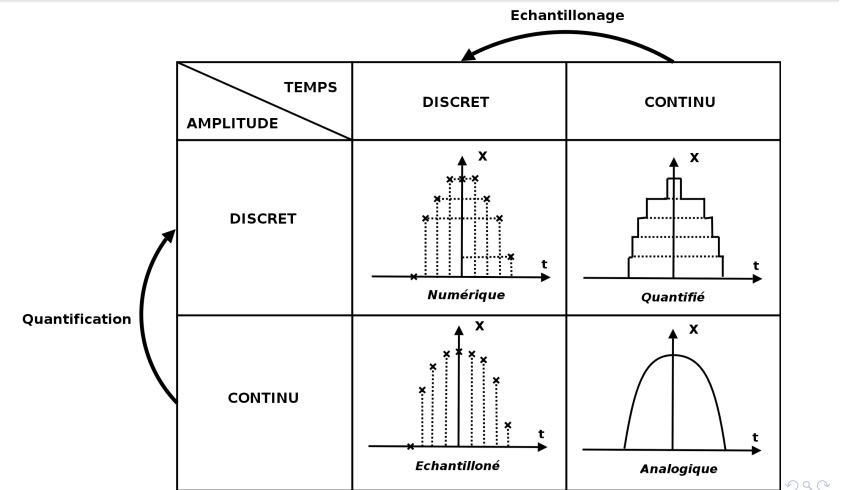
Signaux causaux

- Définition : *Signal dont l'évolution est nulle pour les temps négatifs*
 $\Leftrightarrow x(t) = 0, \forall t < 0$
- Système physique $\Rightarrow$ réponse impulsionnelle causale

Continu/discret

- temps continu : $x(t), t \in \mathbb{R}$
- temps discret : $x[k], k \in \mathbb{N}$

Continu / discret



Autres critères...

- Périodicité
- Parité
- Stationnarité
- Classification énergétique
- Caractérisation spectrale...

Puissance instantanée

- signal continu : $p(t) = x(t) \cdot \overline{x(t)}$
- signal discret : $p[k] = x[k] \cdot \overline{x[k]}$

Energie sur ΔT

- $E_{moy(t_0, \Delta T)} = \int_{t_0 - \frac{\Delta T}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{x(t)} dt$
- Attention, pas homogène à une énergie "physique", cf exemple résistance

Energie totale

$$E_{Tot} = \lim_{\Delta T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\Delta T}{2}}^{\frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{x(t)} dt$$

Puissance moyenne sur ΔT

- $P_{moy(t_0, \Delta T)} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_0 - \frac{\Delta T}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{x(t)} dt$
- Attention, pas homogène à une puissance "physique", cf exemple résistance

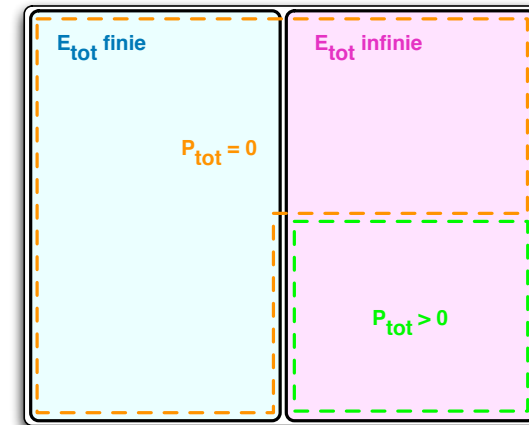
Puissance moyenne totale

$$P_{Tot} = \lim_{\Delta T \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta T} \int_{-\frac{\Delta T}{2}}^{\frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{x(t)} dt$$

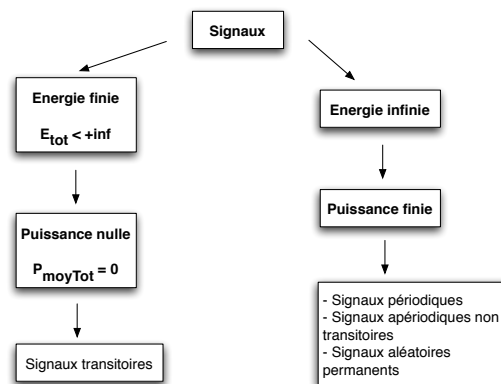
Résultat important

$$E_{Tot} < \infty \Rightarrow P_{Tot} = 0$$

Classification énergétique des signaux



Classification énergétique des signaux



Puissance d'interaction

Puissance d'interaction instantanée

$$p_{xy}(t) = x(t) \cdot \overline{y(t)}$$

Puissance moyenne d'interaction sur ΔT

$$P_{moy,xy(t_0, \Delta T)} = \frac{1}{\Delta T} \int_{t_0 - \frac{\Delta T}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{y(t)} dt$$

Puissance moyenne totale d'interaction

$$P_{moyTot,xy} = \lim_{\Delta T \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta T} \int_{-\frac{\Delta T}{2}}^{\frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{y(t)} dt$$

Energie d'interaction

Energie d'interaction sur ΔT

$$E_{xy}(t_0, \Delta T) = \int_{t_0 - \frac{\Delta T}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{y(t)} dt$$

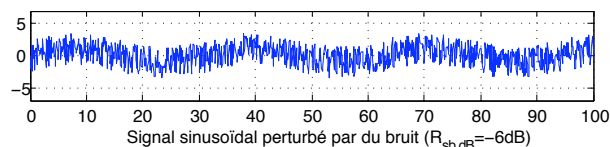
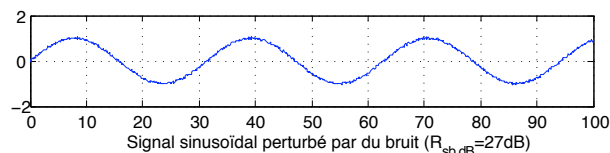
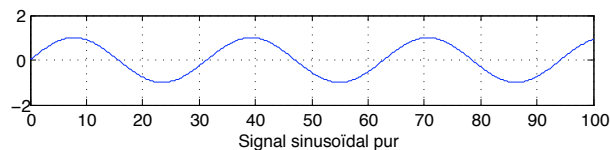
Energie totale d'interaction

$$E_{Tot,xy} = \lim_{\Delta T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\Delta T}{2}}^{\frac{\Delta T}{2}} x(t) \cdot \overline{y(t)} dt$$

Rapport signal sur bruit

Définition

- $R_{s/b} = \frac{P_{moyTot,u}}{P_{moyTot,b}}$
- en dB : $R_{s/b}(dB) = 10 \log(R_{s/b})$
- $P_{moyTot,u}$, puissance du signal *utile*
- $P_{moyTot,b}$, puissance du bruit



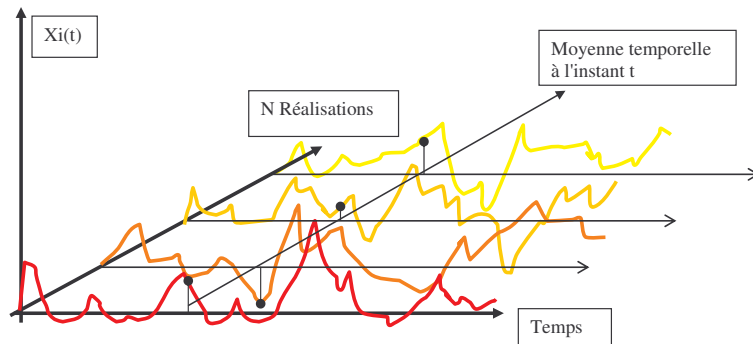
Signal aléatoire

Définition

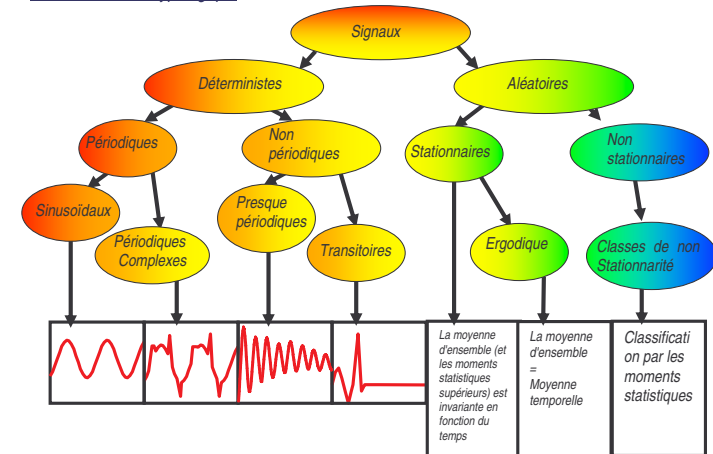
- Signal déterministe $\Rightarrow$ prédiction déterministe du comportement
- Signal aléatoire $\Rightarrow$ comportement imprévisible avec certitude

Processus stochastique

- Collection de trajectoires correspondant à des réalisations
- Agencement orienté dans le temps de variables aléatoires
- Caractérisé par loi temporelle (cf fonction de répartition)
- Possibilité de calcul de moments aléatoires et estimation par moments statistiques



4.5 Classification typologique



Objectifs

- Introduction au TDS, chaîne de TDS
- Définition du signal
- Signal continu/discret
- Signal déterministe/aléatoire
- Bruit
- Energie, Puissance, R_{sb}