

Plan

- I. Introduction au traitement du signal (TS)
 - I. Généralités
 - II. Les signaux acoustiques
 - III. L'analyse spectrale
 - IV. L'analyse temporelle
- II. Le système auditif (SA)
 - I. Généralités
 - II. Codage sensoriel
 - I. Synchronisation de phase
 - II. Place-coding *versus* Time-coding
 - III. La sonie et la hauteur tonale (HT)
 - IV. Rugosité, dissonance et timbre
 - V. Modèles du SA
- III. Analyse des scènes auditives – les courants auditifs
- IV. Interactions des processus sensoriels et cognitifs

1

Introduction au traitement du signal (TS)

Introduction au Traitement du Signal

- L'activité électrique cérébrale, ou **signal** électro-physiologique, peut être échantillonnée et manipulée par ordinateur.
 - Édition
 - Modification des mesures ou méthodes d'analyse
 -
- Puisque ces signaux (électro-)physiologiques ont beaucoup en commun avec d'autres signaux, la connaissance des méthodes de **traitement du signal** peut contribuer à l'extraction d'informations appropriées.

I. Introduction

3

Introduction au Traitement du Signal

- Pourquoi traiter les signaux ?
 - réduire la subjectivité dans l'analyse des données
 - extraire des propriétés caractéristiques
 - difficiles à obtenir visuellement
 - caractériser l'information clinique
 - imiter ou aider l'observation humaine
 - réduire le bruit
 - compresser les données
 - Stockage, transport, gain de temps...
 - modéliser
 - modèles physiques (du cerveau, du cœur, de muscle)
 - modèles du signal, pour aider le traitement
 - pour mieux comprendre le système étudié (neurosciences computationnelles)

I. Introduction

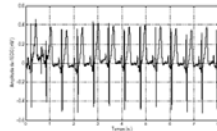
4

Le signal

- représentation d'une **information** à transmettre
- information issue d'un capteur physique (déplacement, vitesse, pression, température, pouls,...)

Exemples :

- Ondes acoustiques
- Signaux géophysiques
- Finances
- Trafic Internet
- Image 2D
- Signaux biologiques (EEG, ECG, EMG, EOG,...)

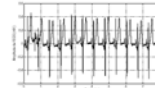


5

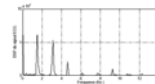
Le Traitement du Signal

- **Elaboration/transformation** de signaux (=synthèse)
- **Interprétation** des signaux : mise en évidence de caractéristiques n'apparaissant pas à l'œil nu, par exemple, la notion de fréquence(s) :

Signal ECG dans le domaine temporel



Contenu fréquentiel du signal ECG

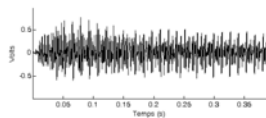


6

Le Traitement du Signal *analogique*

Un signal **analogique** est caractérisé par des variations continues de grandeurs physiques en fonction du temps

Ex : mesure de l'évolution de la tension de sortie d'un micro en fonction du temps (Volts/s) :

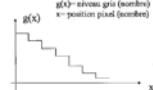
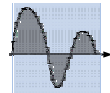


7

Le Traitement du Signal *numérique*

Un signal **numérique** est caractérisé par des variations discrètes de fonctions échantillonnées par rapport au temps ou à l'espace

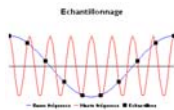
Ex : variations des niveaux de gris d'une image par rapport aux coordonnées spatiales



8

Théorème de Nyquist-Shannon

la fréquence d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure à 2 fois la fréquence maximale contenue dans ce signal, afin de convertir ce signal d'une forme analogique à une forme numérique.



=> crénelage, ou repliement de spectre

9

Filtrage

=> Elimination de parasites, détection de zones d'intérêt...

4 types de filtres :

Passe-bas

laisse passer les BF et atténue les HF (>F de coupure)

Passe-haut

laisse passer les HF et atténue les BF (<F de coupure)

Passe-bande

ne laisse passer qu'un intervalle de fréquences
(=combinaison d'un filtre passe-bas et passe-haut)

Coupe-bande

inverse du filtre passe-bande : empêche le passage d'un intervalle de fréquences

10

Représentations d'un signal

- Représentation temporelle: $x(t)$
 - Ex : force(t), signal audio
- Représentation spatiale : $i(x,y)$
 - Ex : image 2D fixe (photo)
- Représentation spatiotemporelle : $i(x,y,t)$
 - Ex : image 2D en mouvement (vidéo)
- Représentation fréquentielle : $X(f)$
 - Transformée de Fourier (démonstration)

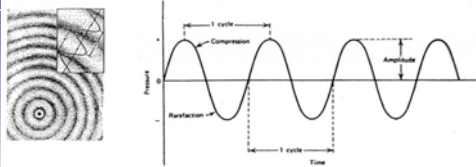
domaine temporel $\longleftrightarrow$ domaine fréquentiel

11

Les signaux acoustiques

Les sons purs

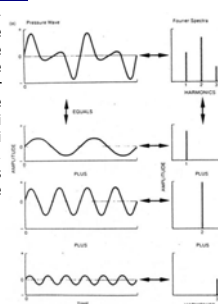
Le son pur : phénomène vibratoire qui résulte de l'alternance de zones de compression et de raréfaction atmosphériques. La sensation d'intensité sonore (la sonie) est liée à l'amplitude de la vibration. La sensation de hauteur est liée à la fréquence de l'onde (i.e., le nombre de cycles par secondes). La phase représente l'état de la vibration à un instant donné.



13

Les sons complexes

Le son complexe : la quasi-totalité des sons de notre environnement sont formés de plusieurs sons purs (cf. théorème de Fourier) que l'on désigne par les termes d'harmonique ou de composante fréquentielle. Ainsi l'onde complexe de la figure, qui représente un son de flûte, résulte de l'addition de 2 sons purs de fréquence et d'intensité différentes.

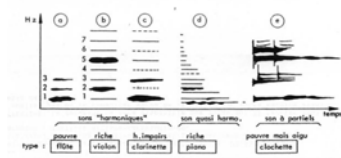


14

Le spectre harmonique

Le spectre harmonique (spectre de Fourier) indique les intensités de toutes les composantes fréquentielles qui constituent un son complexe. Le spectre contribue à définir l'identité perceptive du son. Trois grandes catégories de sons peuvent être définies.

- 1) Les sons harmoniques : leurs composantes fréquentielles sont des multiples entiers d'une fréquence fondamentale (F_0).
=> sons musicaux et voyelles



15

Le spectre harmonique

- 2) Les sons inharmoniques : constitués de composantes fréquentielles qui ne sont pas des multiples entiers d'une fréquence fondamentale.
=> sons de cloches
- 3) Les bruits : composées de bandes continues de fréquence.
=> cocotte-minute.

L'identité des sons complexes est fortement déterminée par les enveloppes spectrales et les enveloppes d'amplitude. Une inversion d'enveloppe d'amplitude peut rendre un son méconnaissable.

16

III. L'analyse spectrale

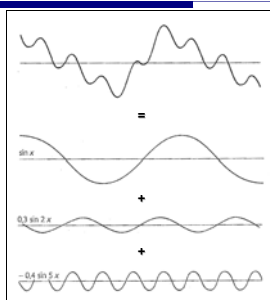
La transformation de Fourier

L'analyse spectrale consiste à déterminer les constituants fréquentiels d'un signal.

La transformation de Fourier est une opération mathématique qui consiste à décomposer une fonction selon ses fréquences, de même qu'un prisme décompose la lumière en couleur. Elle transforme une fonction qui dépend du **temps** en une nouvelle fonction qui dépend de la **fréquence**. Cette nouvelle fonction, qui exprime combien de sinus et de cosinus de chaque fréquence sont contenus dans la fonction originale, s'appelle la **transformée de Fourier**.

18

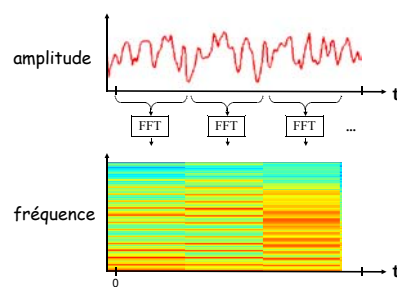
La transformation de Fourier



videos

19

Le spectrogramme

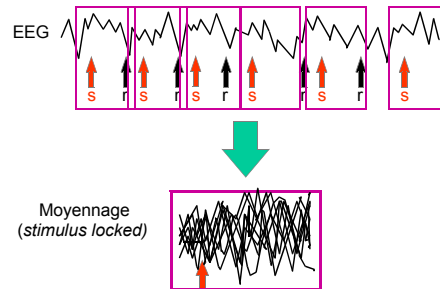


20

IV. L'analyse temporelle

Extraction des PE à partir du signal EEG

- Principe de la mesure de potentiels évoqués (PE)



22

Détection d'un signal masqué dans du bruit

Le moyennage augmente le rapport signal sur bruit

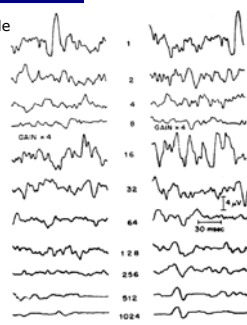


Fig. 19. — Détection d'un signal masqué dans le bruit de fond électroencéphalographique

3

Energie et intensité d'un signal

Le décibel (dB) logarithme décimal d'un rapport de puissance :

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

=> Bell

Le décibel acoustique (dBSPL) : unité relative de l'intensité acoustique :

$$dB_{SPL} = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

p = niveau de pression du son

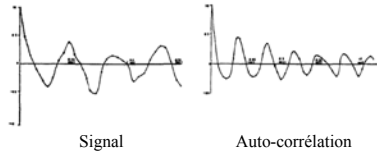
p_0 = pression de référence (niveau à partir duquel l'oreille humaine commence à percevoir un son pur de 1 kHz).

24

L'auto-corrélation

$$acq(\tau) = \sum_{t=0}^N x(t)x(t-\tau)$$

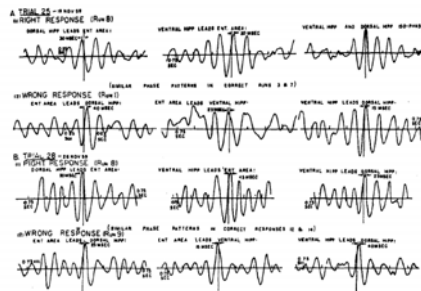
- Extraction des périodicités d'un processus aléatoire



25

L'inter-corrélation (*cross-correlation*)

- Comparaison temporelle de 2 processus aléatoires



26

Domaines temporel et fréquentiel des signaux électro-physiologiques

