

Functional data analysis applied to neurology

Clément Bonvoisin, Pierre Ludmann

CMLA (ENS Cachan), Cognac-G (Paris V)

09/04/2014

Plan

- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
- 3 Perspectives

1 Familiarisation avec le problème

- Motivations
- Protocole expérimental
- Organisation du stage

2 Segmentation des signaux

3 Perspectives

Pourquoi ce travail ?

Cerveau humain encore assez mal connu

Certains troubles neurologiques sont donc difficiles à diagnostiquer, traîter, comprendre, ...

Utiliser les outils mathématiques sur les données médicales pour aider le monde hospitalier à développer des traitements efficaces

Maladies liées à la marche

L'expérience et son acquisition

Trajet du patient :

- environ 6 secondes à l'arrêt
- marche sur 10 mètres
- demi-tour
- marche sur 10 mètres

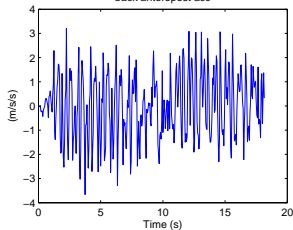


Capture des signaux par des centrales inertielles :

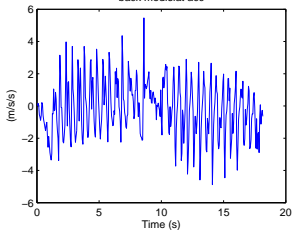
- on s'intéresse à ceux fixées à la ceinture et au pied droit
- accélérations et vitesses angulaires
- enregistrées à 20 Hz/100 Hz
- replacées dans le référentiel
(antéro-postérieure, medio-latérale, verticale)

Exemple d'acquisition - Ceinture

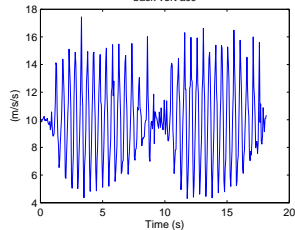
back anteropost acc



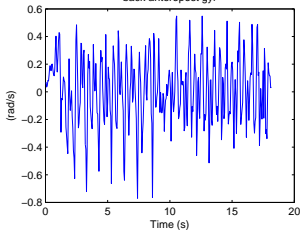
back mediolat acc



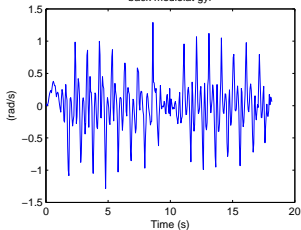
back vert acc



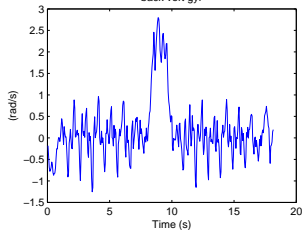
back anteropost gyr



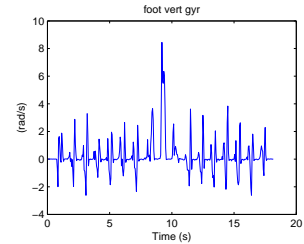
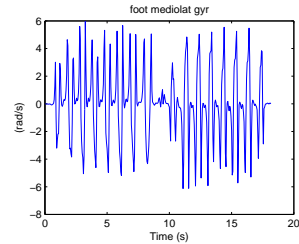
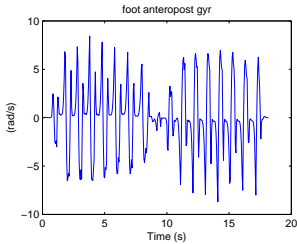
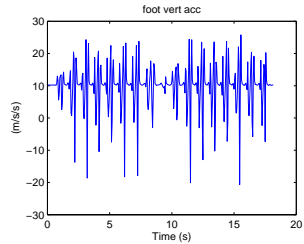
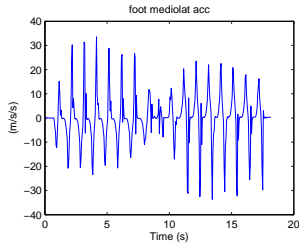
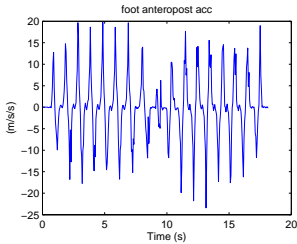
back mediolat gyr



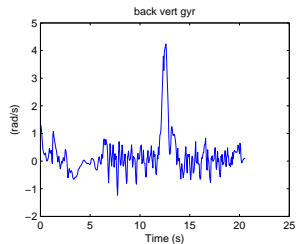
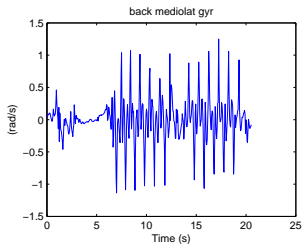
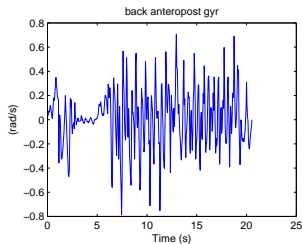
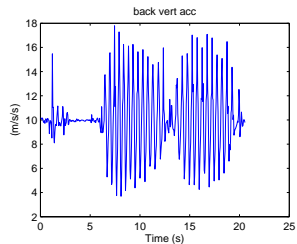
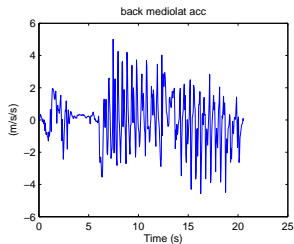
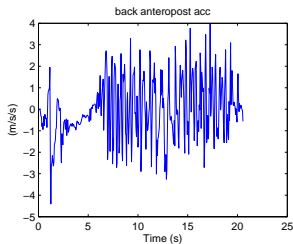
back vert gyr



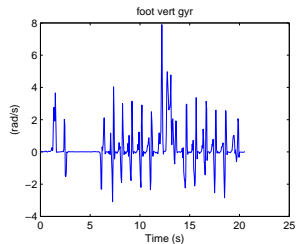
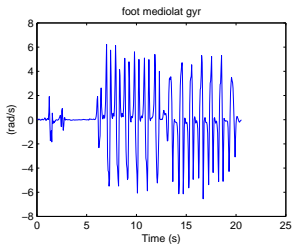
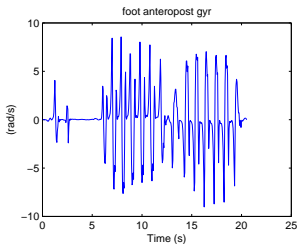
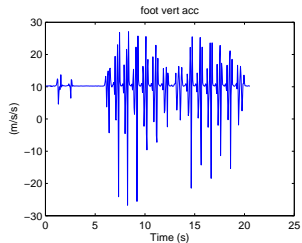
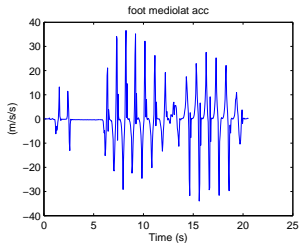
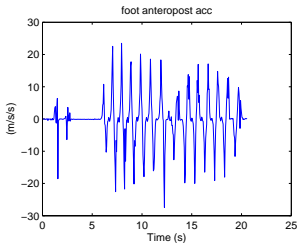
Exemple d'acquisition - Pied



Exemple d'acquisition 2 - Ceinture



Exemple d'acquisition 2 - Pied



Comment faire ?

Signaux sous extension .txt ou .csv

⇒ Besoin de procédures pour importer au format .mat

D'abord on segmente les signaux selon les différentes phases de l'expérience

Puis on analyse les différents segments

L'affichage montre clairement les différentes séquences de l'expérience

⇒ La segmentation automatique doit être rapide et précise, au moins autant qu'à l'œil

- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
 - Algorithme CUSUM
 - Hypothèses de travail
 - Premiers résultats
- 3 Perspectives

Généralités sur l'algorithme CUSUM

Biblio *Detection of Abrupt Changes : Theory and Application*,
M. Basseville, I. V. Nikiforov (1993)

Proposé dans *Continuous inspection scheme*, E.S. Page (1954)

Comparer l'hypothèse d'un changement à l'hypothèse stationnaire

$$L_k = \ln \left[\frac{\sup_{\theta_0} \left\{ \prod_{i=1}^{k-1} p_{\theta_0}(y_i) \right\} \cdot \sup_{\theta_1} \left\{ \prod_{i=k}^N p_{\theta_1}(y_i) \right\}}{\sup_{\tilde{\theta}} \left\{ \prod_{i=1}^N p_{\tilde{\theta}}(y_i) \right\}} \right] \quad (1)$$

Rupture au temps de vraisemblance logarithmique maximale si
dépasse un seuil

$$\max_{1 \leq k \leq N} L_k \geq h \Rightarrow t_0 = \arg \max_{1 \leq k \leq N} L_k \quad (2)$$

Complexité élevée avec les bornes supérieures : besoin de simplification

Le choix du gaussien

Signaux supposés suivre une distribution normale :

$$p_{\mu,\sigma}(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Hypothèse forte : indépendance temporelle et spatiale

Paramètre θ : changement brusque de la moyenne et/ou de l'écart-type du signal

Hypothèse utile : bornes supérieures atteintes aux estimateurs

Choix des paramètres - Formules correspondantes

Trois choix possibles :

$\theta = \mu$: (4) avec $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ et σ fixé

$\theta = \sigma$: (5) avec μ fixé et $\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$

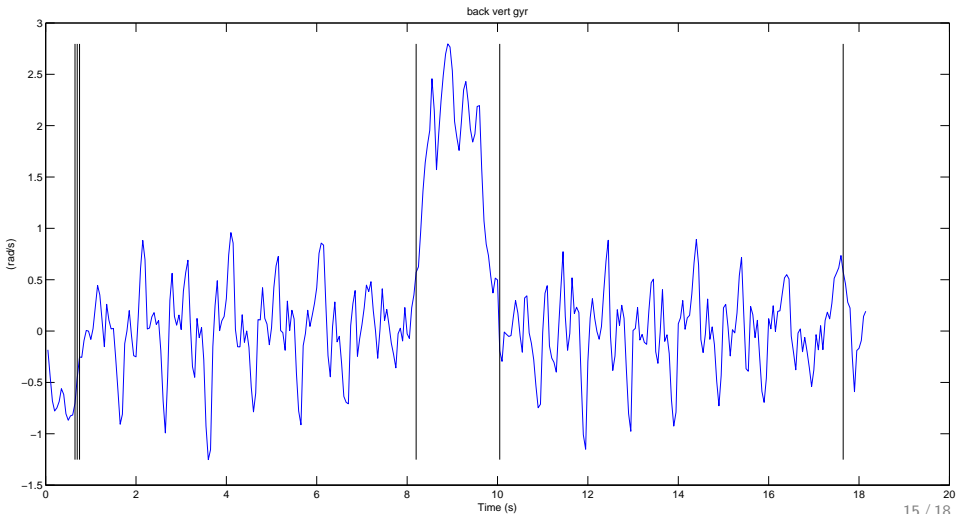
$\theta = (\mu, \sigma)$: (5) avec $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ et $\sigma = \frac{1}{n} [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]$

$$L_k = \frac{1}{2\sigma^2} [(k-1)\mu_0^2 + (N-k+1)\mu_1^2 - N\tilde{\mu}^2] \quad (4)$$

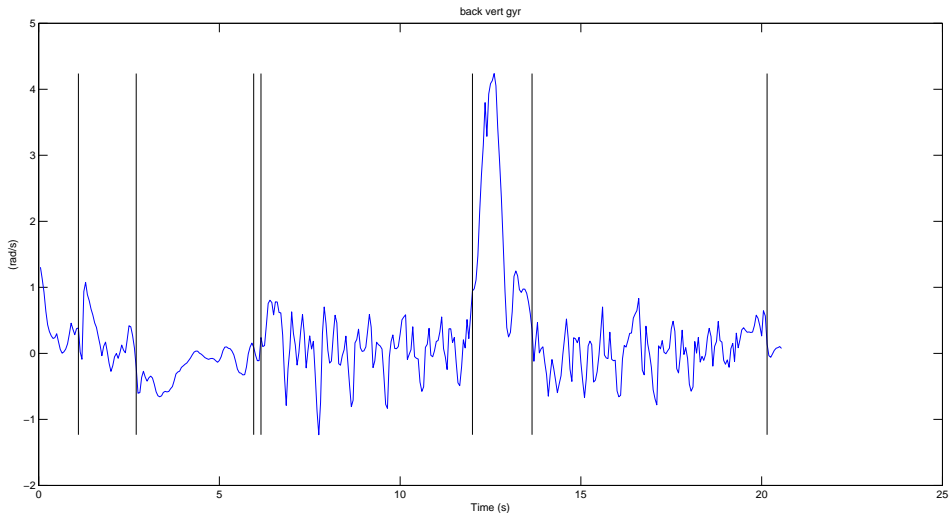
ou

$$L_k = N \ln(\tilde{\sigma}) - (k-1) \ln(\sigma_0) - (N-k+1) \ln(\sigma_1) \quad (5)$$

Dichotomie sur les normes des accélérations et la rotation propre du dos



Segmentation sur un signal imparfait



- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
- 3 Perspectives

Et maintenant ?

Finaliser la segmentation et la valider

Travail sur les segments : différencier et détecter les différents types de maladies

⇒ machine learning sur les segments obtenus

CUSUM à généraliser sur des signaux quelconques

⇒ adaptation du seuillage, hypothèses moins simplificatrices