

# Le traitement du signal

Un outil pour répondre aux problématiques rencontrées dans le domaine  
de l'eau ?

Matthieu Puigt   Gilles Delmaire   Gilles Roussel

Laboratoire d'Informatique, Signal, Image de la Côte d'Opale  
Université du Littoral Côte d'Opale, Calais  
prenom.nom@lisic.univ-littoral.fr  
<http://www-lisic.univ-littoral.fr/~puigt>



Club Innovation Aquapris  
8 Février 2013



## Laboratoire d'Informatique, Signal, Image de la Côte d'Opale

- Créé à Calais en 2010 (fusion de deux laboratoires existants de l'ULCO) : 35 permanents,  $\simeq$ 20 doctorants
- Trois axes de recherche mélangeant informaticiens et traiteurs de signaux/automaticiens :
  - 1 Multi-modélisation et évolution (systèmes artificiels ou domaine du vivant)
  - 2 Imagerie et apprentissage (analyse, synthèse, systèmes de perception)
  - 3 Fusion d'informations (fusion multicapteurs pour la géolocalisation, surveillance de systèmes basé sur des modèles d'évolution spatio-temporelle, perception multi-capteurs)
- Plusieurs projets de recherche en partenariat avec l'industrie (ArcelorMittal, Innocold, etc) ou des organismes publics de recherche (CNRS, IFREMER, etc)

# Qu'est-ce qu'un signal ?

## Definition (Flandrin)

- *Support physique d'une information*
- *Notion générale (électricité, acoustique, optique, mécanique, astronomie, biologie, économie, etc)*
- *Signal  $\Leftrightarrow$  transmission/réception d'une information*

# Qu'est-ce qu'un signal ?

## Definition (Flandrin)

- *Support physique d'une information*
- *Notion générale (électricité, acoustique, optique, mécanique, astronomie, biologie, économie, etc)*
- *Signal  $\Leftrightarrow$  **transmission**/réception d'une information*

# Qu'est-ce qu'un signal ?

## Definition (Flandrin)

- *Support physique d'une information*
- *Notion générale (électricité, acoustique, optique, mécanique, astronomie, biologie, économie, etc)*
- *Signal  $\Leftrightarrow$  **transmission**/réception d'une information*

Comment transmettre une information ?

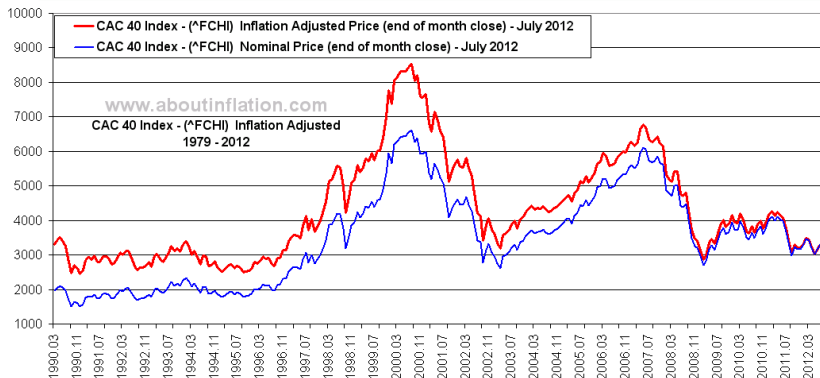
- Traduction d'une grandeur physique en activité électrique
- Notion de capteur (microphone, caméra, capteur de température, de pression, etc)

# Qu'est-ce que le traitement du signal ?

## Des exemples de signaux

Les signaux sont des grandeurs qui peuvent être :

- 1-D

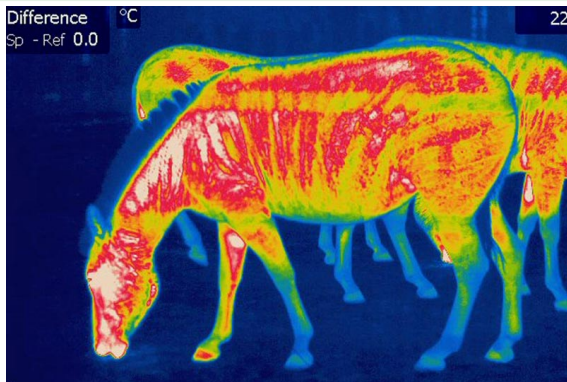


# Qu'est-ce que le traitement du signal ?

## Des exemples de signaux

Les signaux sont des grandeurs qui peuvent être :

- 1-D
- 2-D

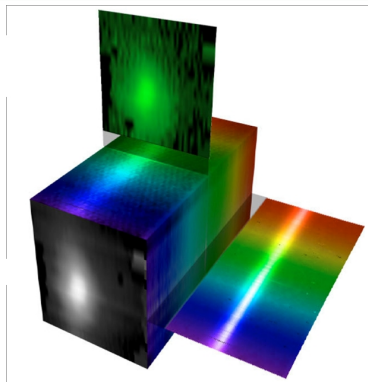


# Qu'est-ce que le traitement du signal ?

## Des exemples de signaux

Les signaux sont des grandeurs qui peuvent être :

- 1-D
- 2-D
- ...
- $n$ -D ( $n \geq 3$ )





# Qu'est-ce que le traitement du signal ?

## Des exemples de signaux

Les signaux sont des grandeurs qui peuvent être :

- 1-D
- 2-D
- ...
- $n$ -D ( $n \geq 3$ )

## Comment ?

- analyser, interpréter ces données ?
- reconnaître, apprendre ces données ?
- synthétiser, modéliser ces données ?
- anticiper les futures données ?
- compléter ces données (si certaines sont manquantes) ?

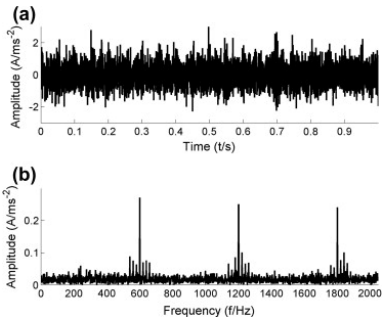
### ⇒ **Traitement du signal**

Nous allons voir quelques problématiques et des exemples applicatifs

# Analyse de signaux

- Interpréter un signal, détecter un événement très particulier dans ce signal est souvent difficile dans le domaine de représentation d'origine
- Possibilité de le représenter de manière compacte et interprétable au moyen d'une autre représentation :
  - Analyse spectrale (décomposition en fréquences, par transformée de Fourier, ondelette, etc)
  - Décomposition modale empirique (analyse sous forme de modes intrinsèques), etc

Exemple : détection de défaillance dans une machine tournante (Li *et al.*, 2011)



# Analyse de données

- Dans certains problèmes, il est important de reconnaître automatiquement un événement, une situation en fonction d'une base d'événements connus → classification supervisée
- Dans d'autres, l'objectif n'est pas de reconnaître un événement mais de regrouper plusieurs événements similaires sans base d'événements connus → classification non-supervisée
- Exemple de classification supervisée : reconnaissance de caractères manuscrits



# Problèmes inverses

Vous savez tous résoudre un système d'équations

$$\begin{cases} 2 \cdot s_1 + 3 \cdot s_2 & = 5 \\ 3 \cdot s_1 - 2 \cdot s_2 & = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Si on note l'équation sous forme matricielle avec  $A$ ,  $\underline{s}$  et  $\underline{x}$  la matrice et les vecteurs :

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 3 & -2 \end{bmatrix}, \underline{s} = [s_1, s_2]^T \text{ et } \underline{x} = [5, 1]^T$$

Alors l'Eq. (1) devient

$$\underline{x} = A \cdot \underline{s}$$

dont la solution est :

$$\underline{s} = A^{-1} \cdot \underline{x} = [1, 1]^T$$

Trouver  $\underline{s}$  en fonction de  $\underline{x}$  s'appelle un **problème inverse** car on doit inverser l'opérateur  $A$ .

# Problèmes inverses

Vous savez tous résoudre un système d'équations

$$\begin{cases} 2 \cdot s_1 + 3 \cdot s_2 + \dots + 7 \cdot s_5 = 5 \\ 3 \cdot s_1 - 2 \cdot s_2 + \dots + 2 \cdot s_5 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Si on note l'équation sous forme matricielle avec  $A$ ,  $\underline{s}$  et  $\underline{x}$  la matrice et les vecteurs :

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 3 & \dots & 7 \\ 3 & -2 & \dots & 2 \end{bmatrix}, \underline{s} = [s_1, s_2]^T \text{ et } \underline{x} = [5, 1]^T$$

Alors l'Eq. (1) devient

$$\underline{x} = A \cdot \underline{s}$$

dont la solution est :

$$\underline{s} = ???$$

Trouver  $\underline{s}$  en fonction de  $\underline{x}$  s'appelle un **problème inverse** car on doit inverser l'opérateur  $A$ .

Comment résoudre ce type de problème si ???

- Il y a plus d'inconnues que d'équations (problème inverse mal posé)

# Problèmes inverses

Vous savez tous résoudre un système d'équations

$$\begin{cases} ? \cdot s_1 + ? \cdot s_2 & = 5 \\ ? \cdot s_1 + ? \cdot s_2 & = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Si on note l'équation sous forme matricielle avec  $A$ ,  $\underline{s}$  et  $\underline{x}$  la matrice et les vecteurs :

$$A = \begin{bmatrix} ? & ? \\ ? & ? \end{bmatrix}, \underline{s} = [s_1, s_2]^T \text{ et } \underline{x} = [5, 1]^T$$

Alors l'Eq. (1) devient

$$\underline{x} = A \cdot \underline{s}$$

dont la solution est :

$$\underline{s} = A^{-1} \cdot \underline{x} = ?$$

Trouver  $\underline{s}$  en fonction de  $\underline{x}$  s'appelle un **problème inverse** car on doit inverser l'opérateur  $A$ .

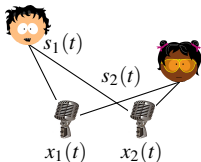
## Comment résoudre ce type de problème si ???

- Il y a plus d'inconnues que d'équations (problème inverse mal posé)
- Si on ne connaît pas l'opérateur  $A$  (déconvolution, égalisation, localisation, séparation aveugle de sources)

# Types d'opérateurs

Pour inverser l'opérateur  $A$ , il faut avoir des hypothèses ou des connaissances *a priori* sur sa nature. Souvent, l'opérateur  $A$  est linéaire :

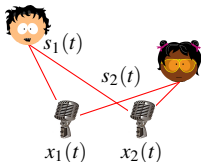
- ① modèle instantané



# Types d'opérateurs

Pour inverser l'opérateur  $A$ , il faut avoir des hypothèses ou des connaissances *a priori* sur sa nature. Souvent, l'opérateur  $A$  est linéaire :

- 1 modèle instantané
- 2 modèle anéchoïque (propagation mono-trajet)

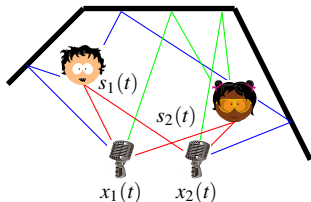




# Types d'opérateurs

Pour inverser l'opérateur  $A$ , il faut avoir des hypothèses ou des connaissances *a priori* sur sa nature. Souvent, l'opérateur  $A$  est linéaire :

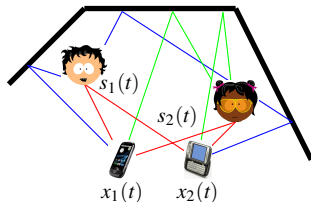
- 1 modèle instantané
- 2 modèle anéchoïque (propagation mono-trajet)
- 3 modèle convolutif (propagation multi-trajet)



# Types d'opérateurs

Pour inverser l'opérateur  $A$ , il faut avoir des hypothèses ou des connaissances *a priori* sur sa nature. Souvent, l'opérateur  $A$  est linéaire :

- 1 modèle instantané
- 2 modèle anéchoïque (propagation mono-trajet)
- 3 modèle convolutif (propagation multi-trajet)



Mais certains opérateurs sont non-linéaires (ex : capteurs chimiques) :

- 4 modèle post-non-linéaire (saturation des capteurs)
- 5 modèle post-non-linéaire à retard, etc

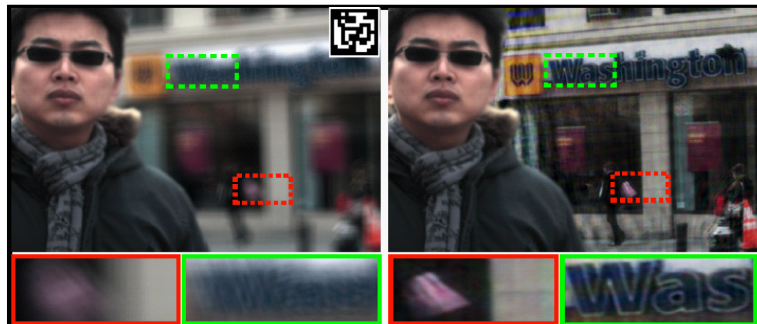
# Exemples d'applications (1)

## Déconvolution

- Dans de nombreux problèmes, on n'observe pas un signal mais une version filtrée, convoluée, de ce signal.
- ⇒ Acoustique : son avec échos. Images : images floues
- L'art d'inverser ce filtre s'appelle déconvolution

Exemple (Zhou, 2009) :

### In the Street



(a) Out-of-focus image captured with the optimized aperture pattern (shown in the right-top corner)

(b) Deblurring result with close-ups

# Exemples d'applications (2)

Séparation et cartographie de spectres astrophysiques (Puigt *et al.*, 2009)

- Milieu interstellaire : région de notre galaxie entre les étoiles
- Milieu dilué mais matière concentrée sous forme de nuages dont la compréhension est importante pour les astrophysiciens.
- Nuages composés de plusieurs espèces chimiques qu'il faudrait **détecter** et **localiser**

# Exemples d'applications (2)

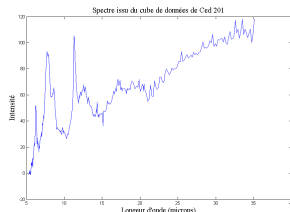
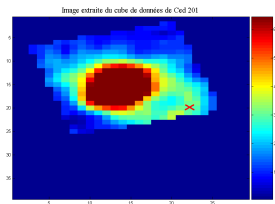
Séparation et cartographie de spectres astrophysiques (Puigt *et al.*, 2009)

- Milieu interstellaire : région de notre galaxie entre les étoiles
- Milieu dilué mais matière concentrée sous forme de nuages dont la compréhension est importante pour les astrophysiciens.
- Nuages composés de plusieurs espèces chimiques qu'il faudrait **détecter** et **localiser**
- Projet Spitzer de la NASA : imageur hyper-spectral dans un satellite qui capture les réponses IR des nuages

# Exemples d'applications (2)

Séparation et cartographie de spectres astrophysiques (Puigt *et al.*, 2009)

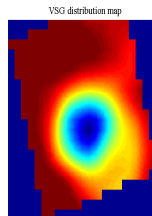
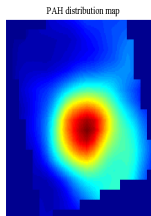
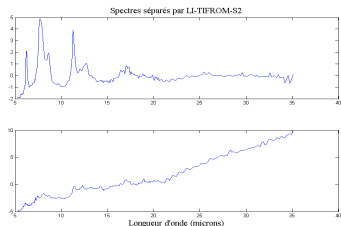
- Milieu interstellaire : région de notre galaxie entre les étoiles
- Milieu dilué mais matière concentrée sous forme de nuages dont la compréhension est importante pour les astrophysiciens.
- Nuages composés de plusieurs espèces chimiques qu'il faudrait **détecter** et **localiser**
- Projet Spitzer de la NASA : imageur hyper-spectral dans un satellite qui capture les réponses IR des nuages
- Spectres observés : **mélanges des spectres des espèces chimiques**



# Exemples d'applications (2)

Séparation et cartographie de spectres astrophysiques (Puigt *et al.*, 2009)

- Milieu interstellaire : région de notre galaxie entre les étoiles
  - Milieu dilué mais matière concentrée sous forme de nuages dont la compréhension est importante pour les astrophysiciens.
  - Nuages composés de plusieurs espèces chimiques qu'il faudrait **détecter** et **localiser**
  - Projet Spitzer de la NASA : imageur hyper-spectral dans un satellite qui capture les réponses IR des nuages
  - Spectres observés : **mélanges des spectres des espèces chimiques**
- ⇒ **Problème de séparation aveugle de sources**



# Exemples d'applications (3)

## Remplissage de données manquantes / Inpainting

- Dans certains problèmes, le signal d'intérêt est partiellement perturbé par un autre signal, du bruit, ou tout simplement altéré
  - Ne peut être restauré par les approches classiques
  - Il faut estimer les données manquantes
- ⇒ Inpainting

Exemple sur une image (Wang, 2008) :



Exemple audio (Smaragdis *et al.*, 2010)

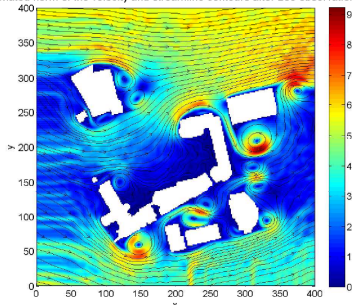


# Modélisation utilisant le capteur de données

- Dans certaines applications, il n'est pas possible de placer beaucoup de capteurs (coût, limitations physiques).
- Intéressant d'aller plus loin dans la modélisation de données que ce qui a été présenté jusqu'ici
- ⇒ Modélisation semi-physique des propriétés spatio-temporelles des données

Exemple : Ecoulement de vent dans un quartier (Roussel *et al.*, à paraître).  
En positionnant de manière optimale 10 capteurs qui mesurent la direction et la vitesse du vent, on peut estimer tout le champ de vent du quartier :

Estimated norm of the velocity and streamline contours after 200 observations



# Conclusion

- Rapide survol de problématiques en traitement du signal

## Innovation dans l'eau ?

- ① application : problème jamais traité par ces méthodes
  - ② méthode : proposer de nouvelles approches *ad hoc* pour un problème posé
- Place à la séquence de créativité autour de la thématique signal / eau

## Merci pour votre attention

- M. Puigt : [matthieu.puigt@lisic.univ-littoral.fr](mailto:matthieu.puigt@lisic.univ-littoral.fr)
- G. Delmaire : [gilles.delmaire@lisic.univ-littoral.fr](mailto:gilles.delmaire@lisic.univ-littoral.fr)
- G. Roussel : [gilles.roussel@lisic.univ-littoral](mailto:gilles.roussel@lisic.univ-littoral.fr)

