

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



94/1

AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

P. FAURRE

SAGEM et IRIA - LABORIA

RESUME

Quelques réflexions sont présentées sur le thème "Automatique et Traitement du Signal". Bien qu'une discipline s'appuie sur la notion de système et l'autre sur celle de signal, il est montré que les points de vue se complètent et que les techniques mathématiques sont souvent communes.

SUMMARY

A few comments are made on "Control Theory versus Signal Processing". Although the basic notion for one topic is the notion of Dynamical System and for the other is the notion of Signal, it is shown that both are complementary and that mathematical techniques they use are similar.



Les organisateurs de ce congrès m'ont demandé d'exposer quelques réflexions s'intitulant "automatique et traitement du signal", ce qui est le thème des quelques paragraphes qui suivent.

1 - Deux optiques différentes : celle de l'Automatique et celle du Traitement du Signal.

L'objet de base de l'Automatique est le système dynamique manifestant une certaine énergie et caractérisé par :

- une entrée $u(t)$
- une sortie $y(t)$
- une relation de type fonctionnelle liant l'entrée à la sortie, dont la description mathématique peut revêtir plusieurs formes :

i) description externe à l'aide d'une fonctionnelle

$$y(t) = f(t ; u(.))$$

qui prend la forme d'une intégrale de convolution pour un système linéaire

$$y(t) = h * u(t) = \int_0^t h(t-\tau) u(\tau) d\tau$$

ou d'une fonction de transfert dans le domaine fréquentiel en utilisant la transformée de Laplace :

$$Y(p) = H(p) U(p)$$

ii) description interne à l'aide d'une notion supplémentaire, l'état du système dynamique où l'on explique d'abord

- à l'aide d'une équation d'état comment l'entrée fait évoluer l'état :

$$\dot{x} = f(t, x, u(t))$$

- puis à l'aide d'une simple fonction

$$y(t) = g(x(t), t)$$

comment la sortie est liée à l'état.

Ces systèmes dynamiques peuvent faire intervenir des éléments probabilistes dans leur description lorsqu'ils sont stochastiques. Ils s'appellent automates ou systèmes séquentiels lorsque les variables en présence sont numériques (discrètes).

Par opposition, l'objet de base en Traitement du Signal est le signal, caractéristique d'une certaine Information. Souvent le signal $y(t)$ est représenté par une fonction aléatoire décrite par

i) un modèle externe du type loi de probabilités, ou moments de cette loi ; moyenne, covariance...

ii) un modèle interne ou markovien, le signal aléatoire considéré étant représenté alors à l'aide d'une équation différentielle stochastique ou d'un processus markovien

$$\dot{x} = f(t, x) + v(t)$$

par une relation fonctionnelle simple

$$y(t) = g(x(t), t).$$

Le signal peut être discret, les modèles prenant alors des formes discrètes.

Les problèmes de base de l'Automatique consistent en

- calculer la commande à appliquer à un système pour qu'il réalise un objectif déterminé : régulation, compensation, commande optimale ...
- identifier un système, c'est-à-dire en déterminer à partir d'expériences le modèle mathématique
- tester un système, c'est-à-dire vérifier l'adéquation de l'observation de son fonctionnement avec son modèle nominal.

Par contre, les problèmes de base en Traitement du Signal concernent

- l'extraction de l'information contenue dans un signal : détection, estimation ...
- la détermination du modèle stochastique d'un signal à partir d'enregistrement de ce signal : problème de base de la statistique.

2 - Les techniques utilisées sont souvent communes.

Automatique et Traitement du Signal s'appuient sur des techniques mathématiques de base communes : équations fonctionnelles, transformées de Laplace et de Fourier, calcul des Probabilités, calcul des variations etc...

Les algorithmes numériques utilisés sont souvent communs : moindres carrés, gradient, algorithmes récurrents, transformée de Fourier rapide etc...

L'aspect "mathématiques appliquées" des deux disciplines est très net.

3 - Il en résulte que chaque discipline a tendance à s'appropriier des chapitres revendiqués par l'autre.

Ainsi l'automaticien traite des signaux

- lorsqu'il estime l'état d'un système (filtrage)
- lorsqu'il estime la dynamique d'un système (identification)



- lorsqu'il cherche à détecter le bon fonctionnement d'un système (tests).

Inversement en Traitement du Signal, on fait intervenir des systèmes dynamiques lorsqu'on introduit

- des filtres
- des récepteurs, détecteurs...

4 - On transcende cette "concurrence" lorsqu'on globalise les problèmes.

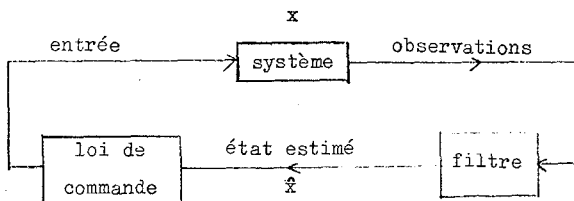
En effet, ce n'est que par découpage en sous-problèmes d'une situation initiale qu'on arrive à isoler des problèmes qui sont du ressort de l'Automatique ou du Traitement du Signal.

Un problème réel vu globalement fait toujours apparaître les deux aspects. En voici deux exemples

i) principe de séparation de l'estimation et de la commande

Souvent les observations faites sur un système sont incomplètes et n'en déterminent pas l'état.

Par filtrage il est alors possible d'estimer au mieux l'état du système. D'autre part il est possible de déterminer la commande à appliquer en fonction de l'état pour optimiser un certain critère. Il est alors naturel dans le cas réel d'appliquer la commande calculée à partir de l'estimation de l'état donnée par le filtre (voir schéma ci-dessous)



Toutefois, il n'est pas évident que cette procédure soit optimale. Lorsqu'elle l'est, on dit que le principe de séparation de l'estimation et de la commande s'applique.

Il est prouvé que dans le cas gaussien, avec dynamique linéaire et critère quadratique, l'optimum est ainsi atteint.

ii) autres principes de séparation.

Il est du plus grand intérêt pratique de savoir quand l'optimum global est atteint lorsque le problème initial est découpé en sous-problèmes optimisés individuellement comme dans l'exemple précédent. Un autre cas d'intérêt est celui de la séparation de la phase

d'identification de la phase de commande. Peu de résultats sont connus, et c'est là un thème de recherche intéressant.

5 - On peut rapprocher les deux disciplines par une notion de dualité.

La dualité information-énergie permet de rapprocher les problèmes de traitement du signal des problèmes de commande.

Dans le cas des systèmes linéaires, cela est bien illustré par la dualité entre les notions de commandabilité et d'observabilité.

Les méthodes statistiques fondées sur la minimisation d'un critère (vraisemblance,...) peuvent aussi s'interpréter en termes de commande optimale (Automatique).

Conclusion

Automatique et Traitement du Signal s'appuient ainsi en grande partie sur des techniques mathématiques communes. Leurs points de vue se complètent dans des problèmes globaux, faisant intervenir éventuellement des principes de séparation. Leurs résultats se dualisent souvent, en s'éclairant mutuellement.