

1

Introduction

La *Régulation* est l'action la plus banale qui soit ; nous y sommes confrontés au quotidien, à commencer par le maintien de la température de notre corps à 37° , la limitation de vitesse de nos voitures sur route, la température de l'eau de notre douche, notre budget financier, etc.

Dans la pratique, la régulation est présente dans beaucoup de processus industriels : contrôle de la température d'un échangeur thermique, du niveau d'un ballon de chauffe, du débit d'eau d'un réservoir, de la position d'une antenne, etc. Il existe de nombreux types de régulateurs.

Le plus répandu, le régulateur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivée), agit sans connaissance précise du processus ; il envoie une commande dans un certain sens et la corrige ensuite dans le sens qui convient, plus ou moins en aveugle, ne se servant à chaque instant que de l'erreur consigne-mesure, sans autre connaissance a priori...

À l'instar de l'opérateur humain, qui lui a la connaissance du comportement de son processus (c'est le *modèle* !), le PFC (Predictive Functional Control) est capable de choisir la meilleure action à appliquer, selon une procédure bien adaptée ! Le choix de cette action est critique, lourde de responsabilité, aussi est-il nécessaire de disposer d'un bon outil de développement pour mettre au point les algorithmes de commande qui seront par la suite installés dans les automates programmables, avec leurs langages spécifiques.

Scilab est un candidat ! Son point fort est sa simplicité : facile à utiliser et facile à implanter. D'autres logiciels peuvent être utilisés mais au prix d'une plus grande complexité. Tout est une question de cible.

Ce livre fournit tous les éléments pour mettre en œuvre la commande prédictive avec Scilab.

1.1. Prérequis et public visé

Il existe de nombreux types de commandes... le PFC en est une, peut-être plus abordable mathématiquement que bien d'autres, dans la mesure où les variables d'état (c'est le cas ici) ne sont pas utilisées pour la représentation des processus stables d'ordre 1 ou 2.

On s'adresse ici aux étudiants, techniciens supérieurs, ingénieurs intéressés par l'automatique et plus précisément par la commande des systèmes, ainsi qu'aux professionnels industriels, utilisateurs habituels du PID, désireux d'aller au-delà de ce que ce régulateur classique peut apporter.

1.2. Codes sources

Les programmes proposés au fil des chapitres constituent l'essence même du livre : ils implantent en Scilab les types les plus courants de commandes prédictives. Nous les avons élaborés avec le plus grand soin pour vous fournir des outils fiables, adaptés aux différents contextes de l'automatique. Si néanmoins, vous y décelez des erreurs, n'hésitez pas à nous les signaler.

Pour vous en faciliter l'emploi, vous pouvez les télécharger au fur et à mesure de votre lecture en cliquant sur l'icône  qui les accompagne.

1.3. Origine de la commande prédictive

Dans les années 1950/1960, pratiquement, tous les états-majors des pays de l'OTAN financèrent des recherches concernant l'ergonomie du pilotage d'avion. Le Ministère de l'Air, en collaboration avec le Centre d'Essai en Vol de Brétigny, octroya donc un contrat de recherche au laboratoire d'Automatique de SUPAERO, avec la mission d'analyser le pilotage afin d'améliorer les instruments de vol et les organes de commande. Des essais, nombreux et variés, furent alors réalisés en imposant au pilote de suivre une assiette sinusoïdale imposée, (donnée par un métronome collé sur le tableau de bord !), afin d'identifier le comportement de l'avion, lors de divers changements de cap, d'altitude. La base de données recueillie était vaste mais cohérente.

À cette époque la Régulation vivait sa grande période de l'Automatique Fréquentielle : lieux de Black, Nyquist, Bode. Les régulateurs étaient des réseaux d'avance de phase et l'omnipotent PID, avec déjà ses très nombreuses méthodes de réglage, régnait en maître. Pour les mêmes consignes données à un pilote humain et à un pilote automatique on a donc pu comparer en toute objectivité les comportements du régulateur et du pilote. Il s'est avéré que les comportements du processus étaient assez proches ; mais surprise : *les variables d'action étaient très différentes !*

Pour simplifier on peut dire que la sortie du régulateur était continue, de fréquence assez basse, alors que la commande proposée par le pilote était pratiquement une suite d'impulsions, de durées et amplitudes variables, avec des périodes sans actions. En fait la commande était rare mais très pertinente. Le pilote a beaucoup de tâches à accomplir

(plan de vol, radio, moteur, observation de l'extérieur etc.), la commande ne peut donc pas être permanente et se doit d'être très efficace quand elle agit. Le pilote a pour cela une *connaissance* poussée de son appareil ; il sait que telle action donnera tel résultat dans le futur et la plupart du temps il ne fait que vérifier que tout se comporte comme prévu, sinon il agit.

La commande prédictive trouve ses sources dans l'observation du comportement humain. Elle se fonde sur la connaissance du processus (qui fait l'objet d'une modélisation) pour anticiper le résultat et corriger l'action en vue d'atteindre l'objectif. La boucle fermée est toujours présente, mais son rôle est fortement diminué, utile si un incident exogène, rare, non prévu intervient.

1.4. La commande prédictive dans l'industrie

Les industries de production du type : pétrole, chimie, pharmacie, agro-alimentaire, métallurgie, énergie, assainissement, séchage, fours, etc., utilisent classiquement depuis longtemps le régulateur PID à toutes fins utiles. Mais ce régulateur a des limites : performances insuffisantes pour les processus réputés difficiles, absence de prise en compte de contraintes sur le signal de commande, etc.

Dans la compétition économique mondiale l'Automatique a un rôle à jouer. Pour ce faire on dispose maintenant de deux atouts significatifs :

- les techniques de modélisation mathématique des processus ;
- les automates industriels qui ont fait de remarquables progrès en vitesse, puissance, facilité de programmation et coût, si bien que l'on peut maintenant y implanter, dans de bien meilleures conditions, des commandes beaucoup plus performantes.

La commande prédictive PFC utilise au mieux l'apport de la modélisation du processus à piloter et la puissance des organes de traitement de l'information. Elle est facile à comprendre, à implanter et à régler, quitte à être parfois sous-optimale, mais elle est capable de traiter de façon efficace une majorité des problèmes de régulation se situant hors du champ d'application du régulateur PID. Le Temps de Retour sur Investissement TRI (indicateur économique de l'industriel) est court pour le PFC qui est alors rapidement accepté et intégré dans la boîte à outils de l'instrumentiste industriel. Son réglage se fait avec des paramètres qui ont un sens physique clair, comme par exemple le TRBF (Temps de Réponse en Boucle Fermée).