

Préface

Le développement extraordinaire des microprocesseurs a provoqué des changements importants dans la conception des systèmes de commande/régulation. Leur puissance de calcul et leur faible coût les rendent aptes à prendre intégralement en charge les aspects commande / régulation avec des performances nettement supérieures à celles des régulateurs analogiques. Pratiquement tous les systèmes de régulation construits actuellement utilisent des microprocesseurs.

Pour tirer réellement profit des capacités des microprocesseurs, il ne suffit pas de reproduire le comportement des régulateurs P.I.D. analogiques, il faut mettre en œuvre des techniques d'automatique spécifiques et plus performantes, développées pour la commande par ordinateur, techniques qui ont été testées industriellement ces vingt dernières années. Par ailleurs le développement des logiciels d'Automatique et de leur utilisation a permis d'améliorer d'une façon significative l'efficacité de la conception et de la mise en œuvre des systèmes de commande / régulation.

La dissémination des PC, qui sont des machines ouvertes pouvant être facilement complétées avec des cartes d'acquisition, a permis d'une part la généralisation de l'usage des logiciels et a conduit, d'autre part, à la création de stations de travail pour l'analyse, la conception, le développement et la mise en œuvre sur des procédés réels de différents types d'algorithmes de commande / régulation.

L'ensemble « *livre – logiciel - internet* » a révolutionné les méthodes d'enseignement de la discipline et constitue maintenant le vecteur de pénétration privilégié des méthodes modernes de commande. Malgré le caractère convivial des logiciels, la compréhension d'un certain nombre de concepts est nécessaire pour une utilisation efficace des logiciels. L'utilisation des logiciels comme illustration des concepts et algorithmes facilite leur compréhension, permettant de "sentir" très vite les phénomènes. L'internet à travers un site dédié au livre (<http://www-lag.ensieg.inpg.fr/landau/bookIC>) apporte des compléments tant pour l'enseignement que pour l'interaction entre lecteurs et auteur.

Objectif de l'ouvrage

L'objectif de cet ouvrage est de donner les connaissances nécessaires pour la compréhension et la conception des systèmes de commande/régulation applicables à des procédés extrêmement variés. L'approche adoptée dans la rédaction de l'ouvrage est résolument tournée vers les besoins du concepteur et de l'utilisateur de ces systèmes. Tout ce qui est superflu du point de vue théorique pour le concepteur et l'utilisateur a été éliminé. Par ailleurs on a tenu compte de la disponibilité des logiciels et langages scientifiques dédiés à l'Automatique (dont certains sont à accès libre). Enfin, on s'est attaché à donner suffisamment de détails pour la mise en œuvre matérielle des systèmes de commande/régulation et leur optimisation sur le procédé réel.

Le fil conducteur

La figure 1 résume les principes généraux de conception et calcul des régulateurs.

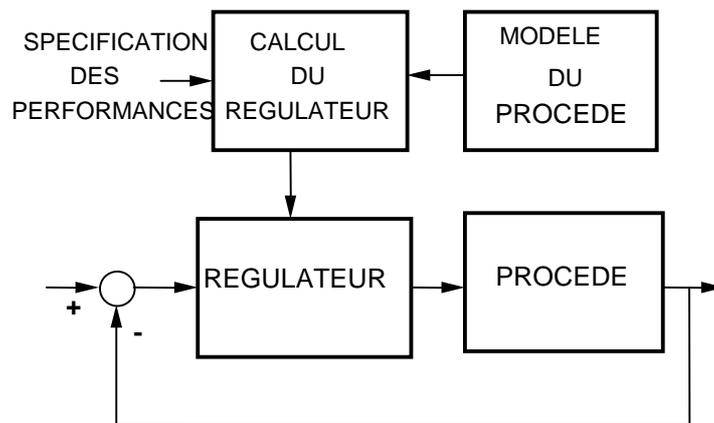


Figure 1. Principe de la conception et du calcul d'un régulateur

Pour concevoir et ajuster un « bon » régulateur il faut :

- 1) Spécifier les performances désirées pour la boucle de commande-régulation
- 2) Connaître le modèle dynamique du procédé qui décrit la relation entre les variations de la commande et celles de la sortie
- 3) Déterminer la structure et calculer un régulateur permettant d'atteindre les performances désirées pour le modèle de procédé considéré.
- 4) Disposer des moyens de mise en œuvre matérielle

- 5) Disposer des techniques pour l'optimisation du régulateur sur le procédé réel

Pour disposer d'un modèle représentatif du procédé à commander il faut l'identifier. L'*identification*, c'est l'opération d'extraction du modèle dynamique du procédé à partir des mesures des entrées/sorties. Des logiciels¹ appropriés permettent de réaliser cette opération. L'identification constitue l'élément clé pour réaliser une régulation performante et réduire le temps de mise en œuvre.

Une fois le modèle du procédé obtenu, on peut calculer un régulateur (ou ajuster un régulateur de structure donnée) à l'aide d'un logiciel mettant en œuvre des méthodes de synthèse et de le tester en simulation et en temps réel sur le procédé.

La maîtrise des techniques d'acquisition et de mise en œuvre des régulateurs numériques constituent par ailleurs un point de passage obligé pour le succès de la conception d'un système de commande/régulation.

A qui s'adresse ce livre ?

Le livre s'adresse en priorité aux ingénieurs qui souhaitent acquérir les connaissances nécessaires pour la compréhension, la conception et la mise en œuvre des systèmes de commande/régulation par ordinateur. Les nombreuses références industrielles d'utilisation des techniques présentées dans ce livre constituent sans aucun doute une raison supplémentaire de s'y intéresser.

Ce livre s'adresse aussi aux enseignants car il représente un support de cours indispensable pour les Ecoles d'ingénieurs et les Universités qui offrent un cours de commande par ordinateur.

Ceux qui possèdent déjà les connaissances de base en systèmes échantillonnés et commande par ordinateur trouveront dans ce livre une méthodologie claire, orientée vers les applications, pour la conception et la mise en œuvre des systèmes de commande/régulation par ordinateur.

¹ Les logiciels WinPIM, WinREG, WinTRAC distribués par Adaptech (4 rue du Tour de l'Eau, 38400 Saint Martin d'Hères, tel : 04 76 51 52 77, télécopie ; 04 76 42 84 16) sont particulièrement adaptés pour traiter les problèmes d'identification des modèles de procédé, de calcul et de mise en œuvre des régulateurs numériques. Les premières versions de ces logiciels (1985,1986) ont été développés en collaboration avec le Laboratoire d'Automatique de Grenoble (ENSIEG/INPG/CNRS) et le GRECO SARTA (CNRS).

Pourquoi ce livre?

En 1988 les Editions Hermes Sciences, Paris publiait le livre "Identification et Commande des Systèmes" dont l'objectif majeur été de présenter sous une forme accessible les techniques moderne d'identification des systèmes et les techniques de base pour le calcul des régulateurs numériques. Une nouvelle édition de ce livre parue en 1993 a marqué une évolution vers une approche plus globale de la conception des systèmes de commande/régulation par ordinateur reflétant ainsi les résultats des expériences industrielles.

Il nous est apparu depuis que la demande des concepteurs et utilisateurs se situe au niveau d'une approche globale de l'ensemble des problèmes liées à la conception et l'utilisation de ces systèmes de commande/régulation et ne se limite plus uniquement à l'assimilation des techniques de base de l'identification et de calcul des régulateurs. C'est donc dans cet nouvel esprit que ce livre a été rédigé. Des nombreux exemples d'application illustrent la démarche proposée pour la conception, la mise en oeuvre, l'identification des procédés et l'optimisation des régulateurs. Le livre présente des nouvelles avancées méthodologique en Automatique. Ces progrès technologiques ont leur origine dans les problématiques rencontrées en pratique et permettent d'apporter des solutions adéquates. Les expériences d'enseignement auprès des audiences universitaires et industrielles en France et à l'étranger ont été prisent en compte dans la rédaction.

La présentation des techniques de base pour la conception des systèmes de commande/régulation représente une partie importante du livre mais des techniques spécifiques ayant montré leur efficacité en pratique sont aussi présentées

Parmi ces techniques spécifiques reflétant les développement méthodologiques récents notons :

- l'estimation automatique de l'ordre des modèles à partir des données
- l'identification en boucle fermée
- la synthèse des régulateurs numériques robustes
- la régulation numérique en cascade et le l'échantillonnage à cadence multiple
- la réduction de l'ordre des régulateurs numériques

La plupart des algorithmes présents dans le livre sont matérialisés par des routines de calcul (Scilab et Matlab) disponibles sur le site Internet du livre.

Enfin des programmes en C++ pour la mise en oeuvre des régulateurs numériques et des séquences binaires pseudo-aléatoire utilisées en identification sont fournis (origine : Adaptech).

Le contenu

Le *premier chapitre* est un rappel bref de la régulation analogique, qui servira ensuite comme référence pour l'introduction des fondements de la régulation numérique.

Le *deuxième chapitre* est consacré aux systèmes de commande par ordinateur. On présente la structure de ces systèmes, le processus de discrétisation, les modèles échantillonnés, les principes de calcul des régulateurs numériques et l'analyse de la robustesse des boucles de régulation numérique.

Le *chapitre trois* détaille plusieurs méthodes de calcul des régulateurs numériques en commençant par le PID numérique et continuant avec des méthodes plus générales qui s'appliquent à des systèmes d'ordre quelconque avec ou sans retard pur. La *robustesse* des régulateurs vis à vis des incertitudes ou des variations des modèles des procédés est traitée en détail.

Les méthodes de calcul des régulateurs numériques en présence de perturbations aléatoires sont expliquées dans le *chapitre quatre*, en introduisant d'abord les modèles de description de ces perturbations (modèles A.R.M.A.).

Les bases de l'identification des modèles dynamiques de procédés sont développées dans le *chapitre cinq*.

Les méthodes récursives d'identification qui sont utilisées pour la mise en oeuvre de l'identification sur microprocesseur ou pour l'identification temps réel, les méthodes de validation des modèles identifiés et les méthodes d'estimation automatique de l'ordre des modèles à partir des données sont décrites dans le *chapitre six*.

Le *chapitre sept* traite des aspects pratiques de l'identification avec plusieurs exemples tirés de la pratique.

Le *chapitre huit* traite des aspects pratiques concernant la mise en oeuvre des régulateurs numériques et présente plusieurs applications.

Le *chapitre neuf* présente les techniques d'identification des procédés en boucle fermée (en présence d'un régulateur dans la boucle).

Le *chapitre dix* est consacré à la présentation des techniques de réduction de l'ordre des régulateurs quand des contraintes de nombre d'opérations sont imposées.

Les *annexes A1, A2 et A3* comportent un rappel d'un certain nombre de concepts de base, la présentation de la synthèse des régulateurs numériques dans le domaine temporel et la présentation des concepts de marge de stabilité généralisée et distance normalisée entre deux fonctions de transfert.

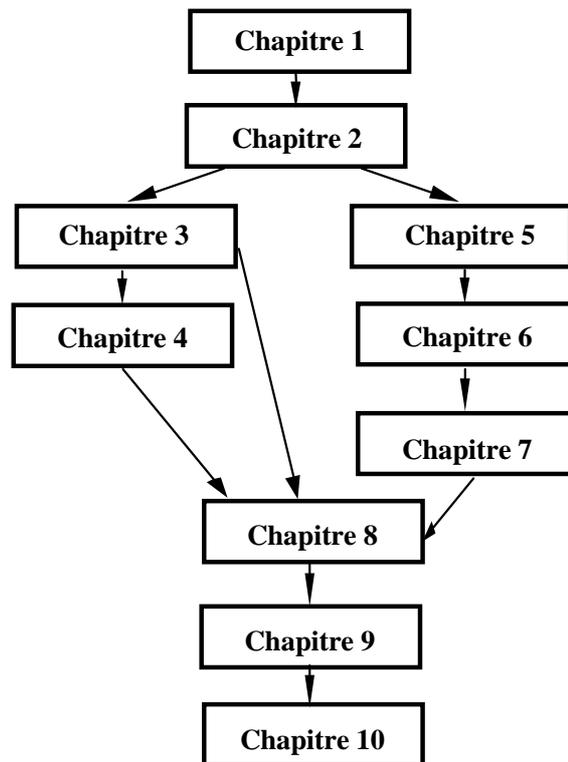


Figure 2. Dépendance logique des différents chapitres

Des suggestions pour des Travaux Pratiques sont données dans *l'annexe A4*. Les *annexes A5 et A6* présentent succinctement différents logiciels mentionnés dans l'ouvrage ainsi que les fonctions disponibles sur le site internet du livre.

Enfin les *annexes A7 et A8* donnent les programmes en langage C++ pour la génération des séquences binaires pseudo-aléatoires utilisées comme signal de commande pour l'identification et pour la mise en œuvre des régulateurs numériques R-S-T.

Plusieurs lectures de ce livre sont possibles. En effet, après les concepts de base présentés dans les chapitres 1 et 2, si on s'intéresse en priorité aux algorithmes de commande, la suite logique est constituée par les chapitres 3 et 4 suivis des chapitres 5, 6 (identification) et des chapitres 7 et 8 traitant des aspects pratiques de l'identification et de la commande. Par contre, si on s'intéresse en priorité aux problèmes d'identification, la suite logique après le chapitre 2 est constituée des chapitres 5, 6 et 7 suivis des chapitres 3, 4 et 8 (algorithmes de commande). Pour ceux qui ont des connaissances de base en systèmes échantillonnés, la lecture du livre peut commencer au paragraphe 2.5 du chapitre 2. Les chapitres 9 et 10 s'inscrivent logiquement dans la suite du chapitre 8.

Un schéma de l'articulation des différents chapitres est donné dans la figure 2.

Remerciements

L'auteur tient à renouveler ses remerciements à Mohamed M'Saad, Nacer M'Sirdi, Mazen Samaan, François Rolland, Alina Voda-Besançon, Daniel Rey, Alphonse Franco et Henri Bourlés pour leur contribution au développement et la mise en œuvre des différentes techniques d'identification et commande.

Alireza Karimi, Hynek Prochazka, Aurelian Constantinescu, Daniel Rey, Alain Rousset, Pascal Rival et Gianluca Zito, ont contribué à la préparation de cet ouvrage. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance.

Enfin, l'auteur tient à remercier Gabriela Stroian qui a assuré avec dévouement une des parties la plus ingrate du travail à savoir la frappe et la mise en page du manuscrit.

Merci aux participants aux cours de formation et aux différents lecteurs pour leur remarques et suggestions.

Ioan D. Landau
landau@lag.ensieg.inpg.fr