

Commande numérique des systèmes

Gabriela Iuliana BARA

Télécom Physique Strasbourg
Année universitaire 2019-2020

`bara.iuliana@unistra.fr`

07 Janvier, 2020

Sommaire

- 1 Informations générales
- 2 Introduction – But de l'enseignement

Organisation de l'enseignement

Cours magistral + Travaux dirigés

- **Première partie** : 5 séances avec G.I. BARA → polycopié + *compléments de cours*
- **Deuxième partie** : 5 séances avec J. GANGLOFF
- 10 séances TD vs 6 séances TD pour TI Santé ☹

Travaux pratiques ↔ évaluation des CR

- 4 séances TP → 1 séance en commun (salle Info) + 3 séances en rotation (salle C003)

Modalités d'évaluation

- 70% : Examen ↔ évaluation écrite de 2h, documents autorisés : 5 pages A4 manuscrites
- 30% : Notation des TP

Programme du cours

Première partie

- 1 Échantillonnage d'un signal
- 2 Transformée en \mathcal{Z}
- 3 Modèles des systèmes échantillonnés
 - Equations aux différences
 - Fonction de transfert
 - Représentation d'état
- 4 Analyse des systèmes échantillonnés
 - Pôles et zéros, stabilité
 - Réponses temporelle et fréquentielle
- 5 Analyse des systèmes échantillonnés en BF
 - Critère de Nyquist,
 - Lieu d'Evans, précision statique

Deuxième partie





1 Synthèse des correcteurs numériques




- Synthèse par transposition
- PID numérique
- Synthèse directe des correcteur numériques

Page web du cours :

http://icube-avr.unistra.fr/fr/index.php/Commande_numerique

Bibliographie

-  R. Longchamp, “Commande numérique de systèmes dynamiques”, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1995.
-  G.F. Franklin, J.D. Powell, L.M. Workman, “Digital control of dynamic systems”, Addison-Wesley Series in Electrical and Computer Engineering: Control Engineering, 1990.
-  K.J. Aström, B. Wittenmark, “Computer controlled systems: theory and design”, Prentice-Hall, 1984.
-  R.H. Middleton, G.C. Goodwin, “Digital control and estimation: a unified approach”, Prentice-Hall, 1990.

-  P. de Larminat, “Automatique: commande des systèmes linéaires”, Hermes, 2^e édition, 1996.
-  J.R. Leigh, “Applied digital control: theory, design and implementation”, Prentice-Hall, 1992.
-  E. Godoy, E. Ostertag, “Commande numérique des systèmes”, Technosup, 2004.

Introduction

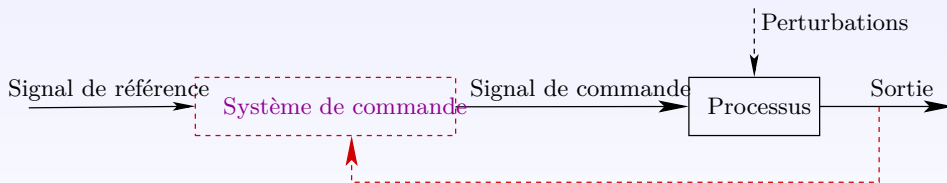
Automatique ("Systems and Control Theory")

- **Définition** : une branche des mathématiques et de l'ingénierie qui a comme objectif l'étude, la modélisation, l'identification et l'analyse des systèmes dynamiques dans le but de commander ou de contrôler leur comportement

Théorie des asservissements ("Control theory")

- **Définition** : agir sur les systèmes physiques de manière à imposer le comportement souhaité
- **Avantages** :
 - améliorer les performances des processus industriels et la qualité des produits,
 - réduire la consommation d'énergie et la pollution, augmenter la sécurité ...

- But : conception des lois de commande pouvant réaliser les fonctions
 - d'*asservissement* = poursuite d'un signal de référence
 - de *régulation* = rejet des perturbations

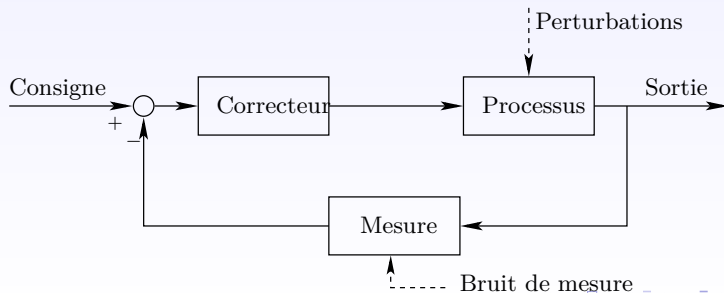


Système de commande = régulateur, correcteur, compensateur

Architecture en boucle fermée

Avantages

- stabiliser un système instable en boucle ouverte
- améliorer les performances de suivi de consigne
- compenser / réduire l'effet des perturbations externes
- compenser / réduire les incertitudes internes au processus



Procédure de conception des systèmes de commande

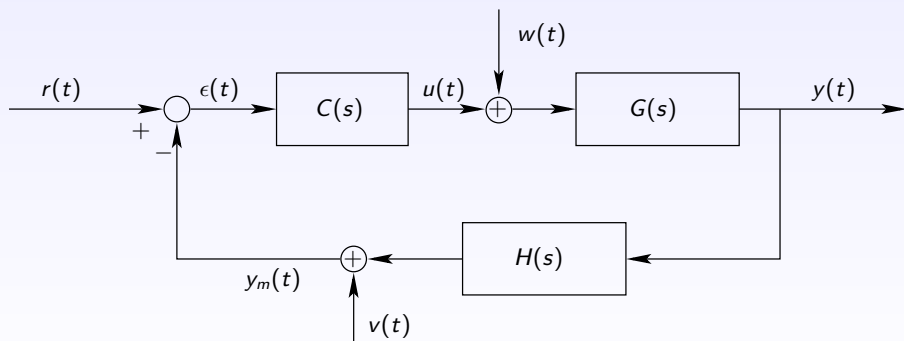
- 1 Représentation mathématique du système à commander
 - Etape de **modélisation**
principes de la physique fournissent un modèle de connaissance/comportement
→ simplifications et approximations
 - Procédure d'**identification**
obtention des paramètres du modèle → imprécisions, approximations

→ modèle mathématique
- 2 Analyse du modèle et définition du cahier des charges
- 3 Synthèse du système de commande
- 4 Validation des performances du système en boucle fermée (simulations et essais)

Implémentation des correcteurs

Asservissement continu

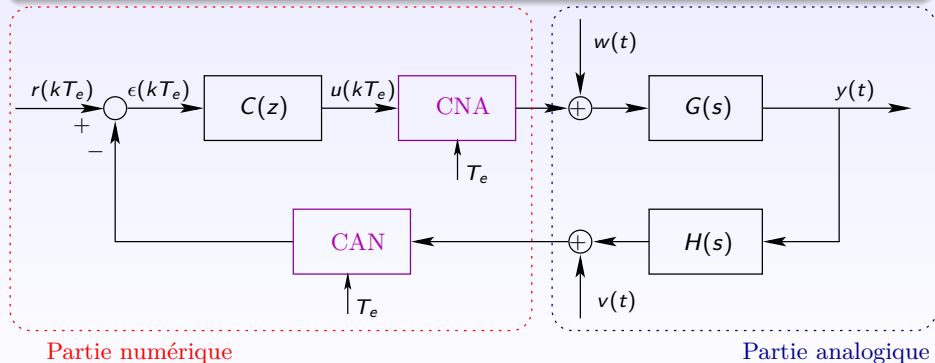
correcteur analogique → méthodes de synthèse à temps continu



Asservissement numérique

correcteur numérique

- atouts : coût faible, rapidité, précision élevée et insensibilité aux bruits, facilité d'implémentation et souplesse par rapport aux modifications



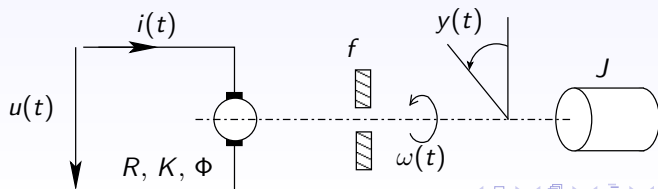
↔ mise en œuvre d'une interface entre l'ordinateur et le procédé
(CAN-CNA)

Est-il nécessaire de développer une théorie dédiée à l'asservissement numérique ?

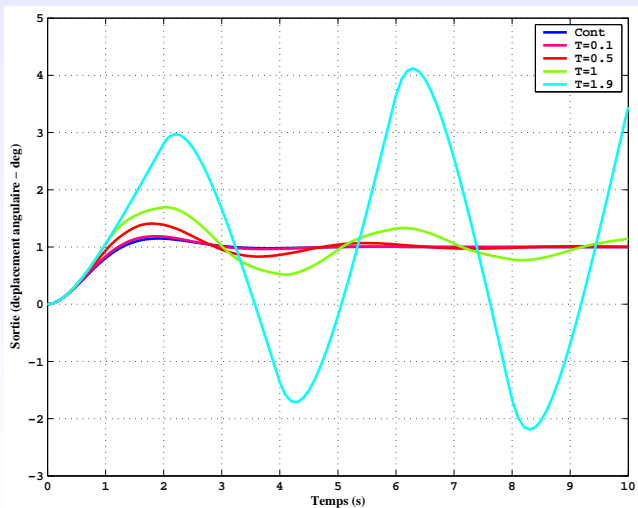
Exemple 1

Moteur à courant continu couplé à une charge :

- fonction de transfert
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\frac{K\Phi}{JR}}{s^2 + \frac{1}{J}(f + \frac{(K\Phi)^2}{R})s} = \frac{4}{s(s+2)}$$
- correcteur proportionnel analogique $u(t) = K_p(y(t) - r(t))$
- correcteur proportionnel numérique $u(kT_e) = K_p(y(kT_e) - r(kT_e))$

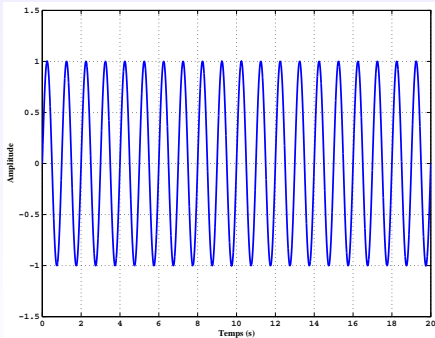
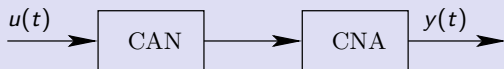


- déplacement angulaire pour une entrée échelon

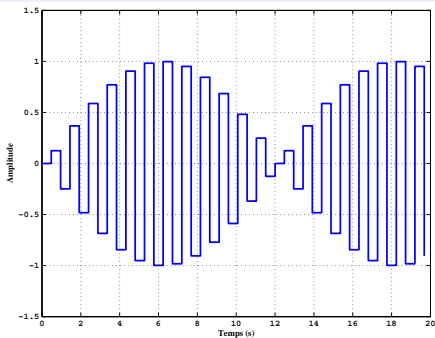


Exemple 2

Phénomène de *battements* dû au CAN (mesure à chaque 0.48s)



$$u(t) = \sin(2\pi t)$$



$$y(t)$$

Conclusion

La mise ensemble des signaux analogiques et numériques peut générer certains problèmes et difficultés

- Nécessité de comprendre l'échantillonnage et la reconstruction des signaux analogiques

De plus,

des nombreux systèmes sont intrinsèquement numériques

- Nécessité d'utiliser un outil mathématique spécifique pour l'analyse des systèmes numériques / échantillonnés
- Nécessité de développer des méthodes d'analyse et de synthèse spécifiques aux systèmes numériques / échantillonnés

Objectif de l'enseignement

Etudier les asservissements numériques c'est à dire le problème de l'utilisation, en temps réel, de calculateurs ou processeurs numériques afin de commander, piloter des processus physiques

- représentation et étude des différentes interactions qui apparaissent entre la partie analogique et la partie numérique
- analyse des systèmes numériques
- synthèse et mise en œuvre des lois de commande numériques