Chapitre 2

Travaux pratiques

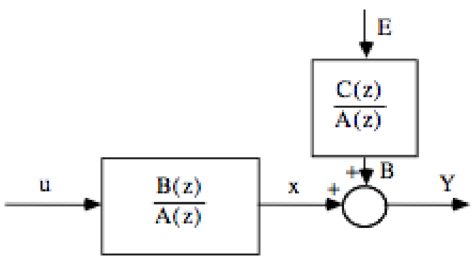
Dans cet exercice vous utiliserez les fonctions disponibles de la boîte à outils System Identification du logiciel Matlab pour l'identification de systèmes. L'objectif est de maîtriser les différentes étapes de l'identification et de savoir utiliser les fonctions disponibles dans cette boîte à outils.

Ces fonctions seront utilisées pour la mise en forme des données, la définition des modèles, l'estimation des paramètres des modèles ainsi que la présentation des résultats et la validation des modèles identifiés.

Compte rendu : *Il vous est demandé d'écrire un seul script Matlab et de le joindre en annexe de votre compte rendu (un seul compte rendu pour les exercices 2.1, 2.2 et 2.3). Le compte rendu doit être envoyé sous format PDF par courrier électronique à l'adresse* `said.moussaoui@ec-nantes.fr`*, au plus tard 10 jours après la date du TP. Le nom des fichiers doit impérativement contenir vos noms. La qualité de la présentation et la pertinence des commentaires seront pris en compte lors de l'évaluation.*

2.1 Identification d'un processus simulé

Soit le système mono-entrée mono-sortie représenté par le schéma suivant



avec

$$\begin{cases} A(z) = 1 - 2.35\,z^{-1} + 1.88\,z^{-2} - 0.51\,z^{-3} \\ B(z) = 0 - 0.02\,z^{-1} + 0.02\,z^{-2} + 0.02\,z^{-3} \\ C(z) = 1 - 1.66\,z^{-1} + 0.83\,z^{-2} - 0.132\,z^{-3} \end{cases}$$

Le signal d'entrée $u[n]$ est une séquence binaire pseudo-aléatoire de longueur N échantillons, d'amplitude $\pm a$ et d'un facteur de division de fréquence de b. La séquence $e[n]$ est une variable aléatoire de distribution gaussiene de moyenne nulle et d'écart-type σ. Les signaux d'entrée et de sortie du système sont l'échantillonnés à une période Te avec un bloqueur d'ordre zéro.

Travail demandé.

1. Ecrire une fonction Matlab (`simulsyst`) qui permet de simuler ce système :
   – Les paramètres d'entrée de cette fonction seront `[N, Te, a, b, sigma]`,
   – Les arguments de sortie seront les objets modèle exact `modex` et données `data`.
2. Utiliser cette fonction pour simuler le processus et sa sortie pour $N = 1000$ points, $Te = 0.02$ s, $a = 5$ Volts, $b = 4$, $\sigma = 0.4$ Volts. Indiquer le degré de persistance de cette excitation. Observer et commenter le contenu spectral des signaux d'entrée et de sortie ainsi que la réponse fréquentielle du système. Commenter le choix du signal d'entrée.
3. Identifier ce système par les méthodes suivantes :
   – **Moindres carrés ordinaires** (fonction `arx`),
   – **Variable instrumentale à quatre étages** (fonction `iv4`),
   – **Maximum de vraisemblance** (fonction `armax`). Spécifier un nombre maximum d'itérations de 100, l'algorithme de Levenberg-Marqardt, une tolérance sur la variation prévue du critère de 10^{-7} , pas de robustification du critère et le mode trace complet. Indiquer si l'optimum a été trouvé (augmenter si nécessaire le nombre d'itérations ou changer l'algorithme d'optimisation) et si oui noter les résultats de l'optimisation.
   – **Méthode d'erreur de sortie**. Chosir un nombre d'itérations maximum de 100, l'algorithme de Levenberg-Marqardt, une tolérance sur l'amélioration prévue du critère de 10^{-7} , pas de robustification du critère et le mode trace complet. Indiquer si l'optimum a été trouvé (augmenter si nécessaire le nombre d'itérations ou changer l'algorithme d'optimisation) et si oui noter les résultats de l'optimisation.

   On notera `mod` les modèles estimés en rajoutant un suffixe qui indiquera la méthode employée pour l'identification {`mc,iv4,oe,mv`}.
4. Ecrire une fonction `validation(data,modid)` qui, pour chaque méthode utilisée :
   – présente les résultats,
   – compare les sorties objet, du modèle identifié et du modèle exact,
   – analyse le résidu de l'estimation (autocorrélation du résidu et intercorrélation entrée-résidu)
5. Ecrire une fonction `analyse(modex,modid)` qui, pour chaque méthode utilisée :
   – trace les réponses indicielles du modèle identifié et du modèle exact, leurs domaines de confiance à 2 écarts types,
   – trace les réponses fréquentielle du modèle identifié et du modèle exact et leurs domaines de confiance à 2 écarts types.
6. Analyser et commenter les résultats. On dressera un tableau résumant les performances des modèles identifiés.

2.2 Identification d'une maquette d'asservissement de position

Le but de ce projet est d'identifier un processus réel multi-sorties représenté par un modèle sous forme de transfert puis sous forme de représentation d'état multivariable. Le processus étant instable en boucle ouverte les enregistrements seront donc réalisés en boucle fermée.

2.2.1 Description du processus

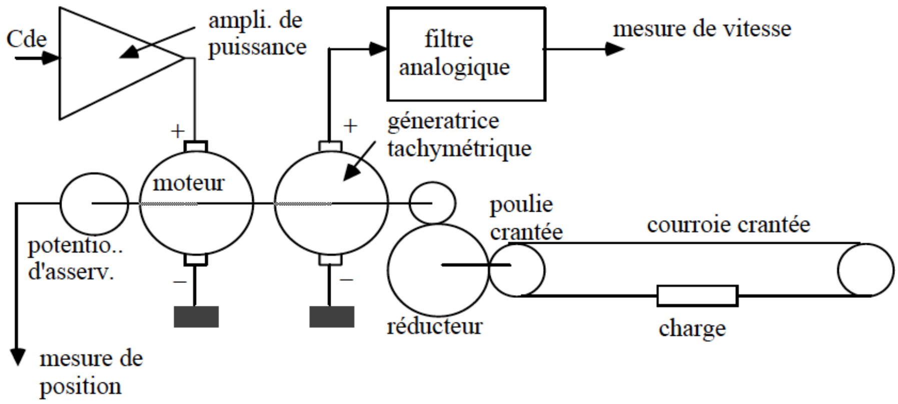


Figure 1. Synoptique de la maquette TERGANE 20.

La maquette TERGANE (Figure 1) comporte :
- un ensemble électromécanique (un moteur à courant continu à aimants permanents qui entraîne un petit équipage mobile par l'intermédiaire d'une courroie crantée).
- une génératrice tachymétrique accouplée au moteur qui fournit une tension proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur.
- un potentiomètre d'asservissement qui fournit une tension proportionnelle à la position.
- un amplificateur de puissance pour la commande du moteur.

En considérant le sortie position, notée, le processus est instable en boucle ouverte. On effectue donc des essais en boucle fermée avec un régulateur le plus simple possible (Régulateur proportionnel).

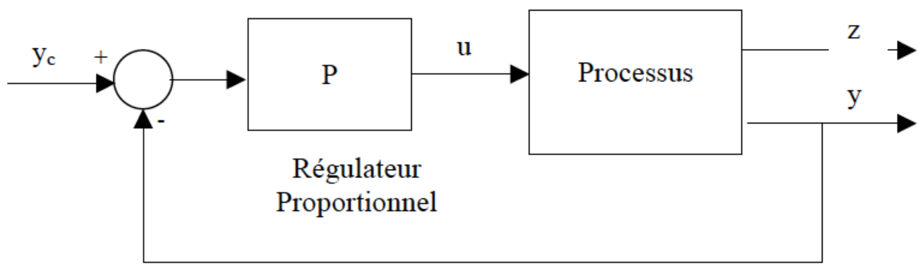


Figure 2. Asservissement avec correcteur proportionnel.

On notera
- u la commande, qui est la tension d'entrée de l'amplificateur de puissance (actionneur).
- y et z sont les mesures de position et de vitesse délivrées par le potentiomètre d'asservissement et la génératrice tachymètrique.
- P le gain du régulateur proportionnel, qui est connu.

2.2.2 Modélisation du processus

La mise en équation de ce processus permet d'écrire le modèle suivant

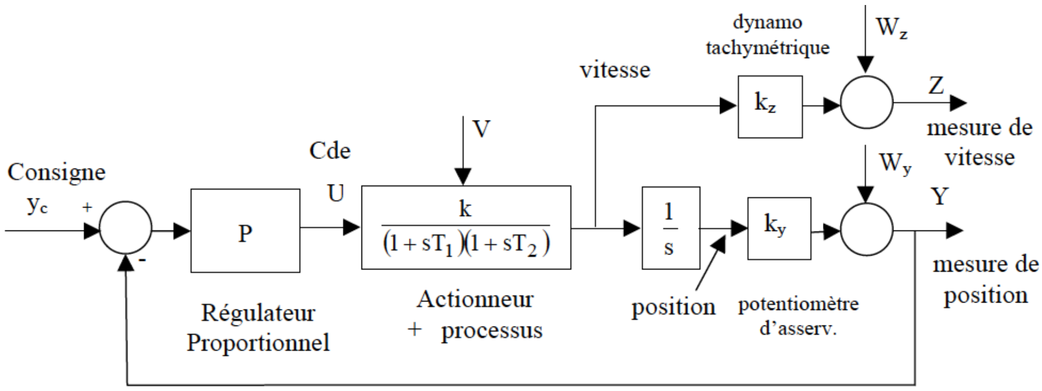


Figure 3. Modèlisation du processus.

avec $e(t)$ représente les erreurs de modélisation et de l'actionneur, $w_y(t)$ et $w_z(t)$ les erreurs de mesure (capteurs) de la position et de la vitesse. On suppose que ces trois signaux sont des bruits blancs, gaussiens, centrés.
Les fonctions de transfert du processus sont :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_y}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad \text{et} \quad \frac{Z(s)}{U(s)} = \frac{K_z}{(1+T_1s)(1+T_2s)}$$

1. Montrer que la fonction de transfert du système d'asservissement de la vitesse est de la forme
$$\frac{Z(s)}{Y_c(s)} = \frac{b_1\,s + b_0}{a_3\,s^3 + a_2\,s^2 + a_1 s + a_0}$$
et exprimer les coefficients $b_0, b_1, a_0, a_1, a_2, a_3$ en fonction des paramètres du processus physique.
2. Quelle serait la fonction de transfert discrète dans le cas de l'utilisation de l'approximation bilinéaire.

2.2.3 Identification du processus

On désire identifier les quatre paramètres du processus T_1, T_2, $K_y = (k \cdot k_y)$, $K_z = (k \cdot k_z)$ à partir des signaux disponibles dans le fichier `Tergane20.mat` : un enregistrement des signaux de consigne (vecteur : `yc`) et des mesures position et vitesse (vecteurs : `y` et`z`). Cet enregistrement a été effectué dans le cas d'un régulateur proportionnel de gain $P = 2,91$ et une fréquence d'échantillonnage de $f_e = 1$ kHz.

1. Exprimer les paramètres du processus en fonction des paramètres du transfert $\dfrac{Z(s)}{Y_c(s)}$.
2. Ecrire un script Matlab qui permet d'identifier, sous la forme d'un modèle d'erreur de sortie, le transfert discret $\dfrac{Z(z)}{Y_c(z)}$ obtenu, sous l'hypothèse d'un bloqueur d'ordre zéro, valide les résultats, calcule les paramètres du transfert continu $\dfrac{Z(s)}{Y_c(s)}$ et en déduit les valeurs des paramètres T_1, T_2, K_y et K_z.
3. Ecrire un script Matlab qui permet d'identifier, par une approche directe et minimisation de l'erreur d'équation (fonction `identc` disponible sur le serveur pédagogique), le transfert continu $\dfrac{Z(s)}{Y_c(s)}$ et en déduit les valeurs des paramètres T_1, T_2, K_y et K_z.

4. Identifier directement les paramètres T_1, T_2, K_y, K_z en multi-sorties sous forme d'un modèle d'état continu avec paramètres couplés (fonctions `idgrey` et `pem`).

   Rappel sur la formulation d'une fonction de transfert sous forme de représentation d'état :

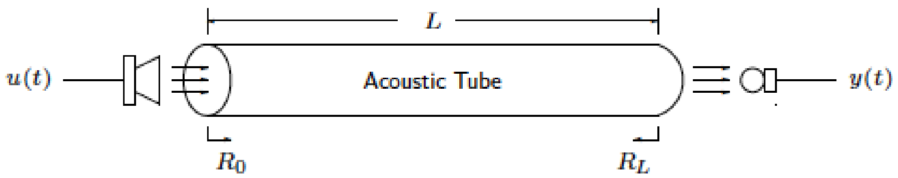
$$T(s) = \frac{b_3 + b_2 s + b_1 s^2}{a_3 + a_2 s + a_1 s^2 + s^3} \quad \Rightarrow$$

$$\text{forme canonique directe : } \begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_2 & -a_3 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} y_C(t) \\ y(t) = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} x(t) + [0]\, y_C(t) \end{cases}$$

$$\text{forme canonique inverse : } \begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -a_1 & 1 & 0 \\ -a_2 & 0 & 1 \\ -a_3 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} y_C(t) \\ y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + [0]\, y_C(t) \end{cases}$$

2.3 Identification d'un système acoustique

Dans cette manipulation on souhaite identifier la fonction de transfert d'un tube acoustique. Il s'agit d'un système résonnant et la position des fréquences de résonance dépend des dimensions du tube, des coefficients de réflexion aux extrémités et de la vitesse de propagation du son à l'intérieur du tube. On peut imaginer une situation dans laquelle une approche de type identification permettrait de diagnostiquer l'état du tube (canalisations, instruments de musique, etc.).



L'expérimentation consiste en l'envoi d'un signal $u(t)$ à une extrémité du tube et l'enregistrement du signal à l'autre extrémité. Le fichier `tube.mat` contient les données mesurées. Il est demandé de

- découper les données en trois parties de longueurs identiques.
- identifier le modèles à temps discret à partir de chaque jeu de données
- faire la validation croisée. Le but étant de choisir la structure de modèle qui maximise le taux de fit entre la sortie mesurée du système et la sortie simulée du modèle.

Il est conseillé de

- identifier la réponse impulsionnelle du système afin d'obtenir une valeur initiale du retard (fonction `cra`)
- identifier la réponse fréquentielle du système afin d'obtenir une valeur initiale des ordres nécessaires (fonction `etfe`)
- tester plusieurs structures et ordre de modèles

Rapporter tous vos résultats (script matlab et résultats sur les différents ordres et structures de modèles) et indiquer le modèle que vous avez retenu ; Pour ce modèle indiquer également la position des fréquences de résonance.