S2I

TP Modelisation SLCI : réglage de la correction de la cheville nao

Objectifs du TP :

- Tester, observer et analyser l'influence du gain proportionnel sur l'asservissement non perturbé.
- Tester, observer et analyser l'influence du gain intégral sur cet asservissement.
- Mettre en œuvre la méthode de Ziegler et Nichols pour le réglage d'un correcteur PID de cet asservissement
- Installer une charge sur le tibia du système puis tester, observer et analyser l'influence de cette perturbation sur l'asservissement.
- Modéliser et installer cette perturbation sur un modèle (modèle sous Scilab fourni) de l'asservissement non perturbé.

1^{ère} partie : Présentation du système et mesures



Nao est un robot humanoïde de 58cm conçu par Aldebaran Robotics, une start-up parisienne.

Pour assurer au robot NAO des performances élevées, le constructeur a choisi d'asservir la position des axes de tangage et de roulis de sa cheville.

De façon à prévoir les performances du mécanisme, l'objet de ce TP est l'étude des performances de l'asservissement de l'angle de tangage de la cheville. On se place dans le cadre de la conception de cet asservissement angulaire avec comme objectif principal la détermination des coefficients pondérateurs des actions proportionnelle, intégrale et dérivée de l'électronique de correction.



La structure d'un axe (tangage ou roulis) peut être représentée par une chaîne fonctionnelle constituée d'une chaîne d'énergie et d'une chaîne d'information, élaborant le déplacement du tibia pour l'axe de tangage, par exemple.



Sous la forme d'un schéma bloc simple :



Avec :

- U_c la tension image de la consigne θ_c (en Volt)
- U_s la tension image de l'angle de tangage θ_s (en Volt)
- ε l'écart en sortie du comparateur (en Volt)
- U_m la tension d'alimentation du moteur (en Volt)

I.1.Mise en œuvre du système

▶ <u>ACTIVITE 1</u> : Réaliser un premier essai en échelon de consigne





- > Ne pas oublier de documenter :
 - ✓ La durée du mouvement (qui représente la durée de l'acquisition) : entre 1 à 2 secondes pour nos essais
 - ✓ La fréquence de commande et d'acquisition (nombre de points par seconde) : choisir le plus de points

La structure de l'asservissement peut être choisie :



Chaque correcteur PID peut être réglé en cliquant sur l'icône correspondant :



En cliquant sur l'onglet « Courbes de résultats », la fenêtre ci-dessous s'affiche (à la version du logiciel près) :

Mesures				x
Commande et mesures	Courbes de résult	ats		
			Ainthe Constinue	
	Tangage	Roulis		
	Consigne tangage	Consigne roulis		
	Angle tangage	Angle roulis		
	Fréquence tangage	Fréquence roulis		
	Ecart tangage	Ecart roulis		
	Angle moteur tangage	Angle moteur roulis		
	Fréquence moteur tangage	Fréquence moteur roulis		
	Ecart moteur tangage	Ecart moteur roulis	Mesures	
	PWM tangage	PWM roulis	n°1 ✓ n°2 n°3 n°4 n°5 n°6 n°7 n°8 n°9 n°10	
E Fermer	Courant tangage	Courant roulis	Tracer Editer	

Pour chaque axe, il est possible d'afficher plusieurs grandeurs en cliquant sur le bouton « Ajouter ». Le nombre de mesures importées est limité à 10, pour supprimer des mesures il faut :



- Le plan d'évolution en tangage doit être horizontal.
- Envoyer en entrée un échelon de position d'amplitude 20°, de début = 5° et de durée 0.7s sur l'axe de tangage commandé en Boucle Fermée avec Kp (coefficient du correcteur proportionnel) = 100 (Pour que l'axe de roulis reste inactif dans toute l'étude, mettre en place une commande nulle sur cet axe).
- > Lancer la MESURE ; l'axe rejoint sa position initiale puis le mouvement demandé s'exécute.
- Réaliser l'IMPORT. Fermer la fenêtre de MESURE et ouvrir la fenêtre d'AFFICHAGE DE COURBES ; Cocher la mesure N° 1.
- Avec AJOUTER, afficher la position en entrée (consigne tangage) et celle en sortie (angle tangage) de l'axe de tangage en fonction du temps.
- Cliquer sur TRACER et Observer les courbes obtenues (la fenêtre d'affichage des courbes peut parfois être en réduit dans le coin bas gauche de l'écran)
- Q1. Identifier le correcteur sur le schéma bloc à l'écran (onglet commande et mesures) et préciser sur quelle grandeur (nom et unité) il agit.
- Q2. Rappeler les 4 critères de qualité d'un asservissement qu'on qualifie également de performances. Soyez précis dans votre réponse.

I.2.Influence de la correction sur l'asservissement angulaire

► <u>ACTIVITE 2</u> : Analyser les exigences du cahier des charges et évaluer l'influence de l'action proportionnelle du correcteur sur les performances.

Lancer une série de mesures avec une consigne d'amplitude 20° (angle initial 5°) pour différentes valeurs de Kp = 100, 500, 1000.

Voici un extrait du cahier des charges de la cheville du robot Nao.

Exigence			Critères	Niveaux
1.1	1.1 Le système doit permettre le déplacement du robot Nao en marche rapide		Angle de tangage tibia / noix+semelle mesuré à partir de la position tibia \perp à semelle.	+10° (extension) à +40°(flexion)
			Angle de roulis noix / semelle mesuré à partir de la position noix \perp à semelle.	-10° à +10°
		C1.2	-Temps de réponse à 5% en réponse à un échelon	<0,5s
			- Écart statique - Marge de phase	<1° >45°
			- Dépassement pour une consigne en échelon	<10%

- Q3. Compléter le tableau du document réponses identique à celui ci-dessous. Expliquer votre démarche pour la vérification des performances. Effectuer les tracés et détailler les calculs nécessaires.
- Q4. Conclure sur l'influence de l'action proportionnelle du correcteur sur les performances. Pour quelle(s) valeur(s) de Kp les niveaux des critères des exigences encadrés sont-ils respecté ?

Valeur du gain proportionnel Kp	<u>Stabilité :</u> valeur du 1 ^{er} dépassement en % de la valeur asymptotique	<u>Rapidité :</u> valeur du temps de réponse à 5% en seconde	Précision : Valeur de l'écart statique en position en degré
100			
500			
1000			

ACTIVITE 3 : Evaluer l'influence de l'action intégrale du correcteur sur les performances.

- Lancer une série de mesures avec une consigne de 20° (départ à 5° avant un temps d'acquisition de 2s) pour Kp = 500 et Ki = 50,100, 500, 1000 et 2000.
- Q5. Conclure sur l'influence de l'action intégrale du correcteur sur les performances de l'asservissement étudié. Quelle(s) performance(s) améliore-t-elle ou dégrade-t-elle ?

2^{ieme} partie : Réglage de la correction (méthode de Ziegler Nichols) de l'asservissement

▶ <u>ACTIVITE 4</u> : Régler expérimentalement la cheville sans perturbation et mettre en œuvre une méthode de réglage plus académique.

- Lancer une série de mesures avec une consigne d'amplitude 20° (angle initial -5°) pour différentes valeurs de Kp = 500 Ki = 100 et Kd variable.
- **Q6.** Proposer une valeur de Kd donnant la meilleure réponse de la cheville. Justifier votre choix vis-à-vis des performances attendues.

PCSI/MPSI

Essai en limite d'instabilité ou « pompage » (réglage de Ziegler et Nichols) :

Une façon pratique de régler un asservissement, a été donnée par Ziegler et Nichols dans les années 50 sur des asservissements purement analogiques.

Le correcteur PID a alors pour fonction de transfert laplacienne :

$$C(p) = K_r \left(1 + \frac{1}{\tau_i \cdot p} + \tau_d \cdot p \right) = K_r + \frac{K_r}{\tau_i \cdot p} + K_r \cdot \tau_d \cdot p$$

- En boucle fermée, on augmente progressivement la valeur de la correction proportionnelle seule, les autres coefficients étant à zéro.
- On relève la valeur de K_r limite, notée K_o, qui donne une situation instable pour l'asservissement (oscillations non amorties), ainsi que la période de ces oscillations notée T_o.
- Il suffit alors de régler les coefficients du PID selon le tableau ci-contre.

Type de correcteur	Gain K_r	$ au_i$	$ au_d$
Proportionnel	$0, 5.K_o$		
PI	$0, 45.K_{o}$	$0, 83.T_{o}$	
PID	$0, 6.K_o$	$0, 5.T_{o}$	$0,125T_{o}$

- Mettre en œuvre cette méthode de réglage. Les gains du correcteur de la cheville notés Kp, Ki et Kd pour les actions respectivement proportionnelle, intégrale et dérivée interviennent dans la fonction de transfert laplacienne du correcteur de la cheville qui s'écrit : $C(p) = K_p + \frac{K_i}{n} + K_d$. *p*
- Q7. Déterminer les valeurs obtenues pour les coefficients Kp, Ki et Kd en suivant la méthode décrite et les comparer avec celles obtenues expérimentalement. Commenter. Observer la réponse de la cheville avec ce réglage de correcteur. Commenter.

3^{ième} partie : étude du système et d'un modèle soumis à une perturbation

Q8. Vous avez installé la cheville pour que le plan d'évolution en tangage soit horizontal. Pourquoi ? l'étude menée correspond-elle à un système perturbé ou non ?

► <u>ACTIVITE 4</u> : Mettre en œuvre une perturbation sur le système et la modéliser. Comparer avec une simulation numérique sous Scilab.

Installer le plan d'évolution du tangage verticalement (tibia vertical) et placer le tube section carrée alu chargé avec 250 gramme de masses à l'extrémité de la cheville. On simule ainsi en partie l'action du reste du corps du robot sur le cheville.

Avant de lancer chaque mesure, replacer la barre tibiale verticalement à la main avec délicatesse...pour ne pas endommager le moteur !!!

- Relancer les deux séries de mesures précédentes avec une consigne de 20° (départ à 5°) : Kp = 100, 500, 1000 puis Kp = 500 et Ki = 50,100, 500, 1000.
- **Q9.** Commenter les résultats obtenus et décrire l'effet de la perturbation sur le comportement de l'asservissement en angle. Toujours vis-à-vis des performances.

- > Lancer le logiciel **Scilab** dans le menu démarrer.
- Laisser la console principale du logiciel charger les modules nécessaires puis taper la commande « xcos » dans la console
- > Dans le menu de la fenêtre vierge de ce module xcos, charger le fichier *Modele connaissance Nao.zcos*.

Le modèle schéma bloc de l'asservissement en tangage de la cheville suivant apparait :



Remarques :

- · La variable de Laplace notée « p » dans le cours se note « s » sur ce logiciel
- · Les blocs triangulaires sont des gains purs donc des coefficients multiplicateurs entre l'entrée et la sortie
- Les blocs rectangulaires correspondent à des fonctions de transfert (traduisant des équations différentielles) d'ordre 1
- Les valeurs des constantes *R*, *L*, *Cf*, *Ke*, *Kcapt*, *Kadapt*, *Kreduc*, *mu et J* sont données dans le menu de la fenêtre Simulation\modifier le contexte
- Noter le type de consigne choisie et la valeur du gain du correcteur puis lancer la simulation. Observer la correspondance de la réponse avec les mesures réalisées sur la cheville.

Q10. Identifier les blocs constituants le moteur sur le schéma bloc (imprimer le schéma et entourer au crayon l'ensemble des blocs). Aidez-vous pour cela des informations sur le moteur à courant continu données ci-dessous et du fichier vidéo : Moteurs élec.VLC

Mise en équation d'un moteur à courant continu :

Pour traduire le comportement dynamique du moteur à courant continu il faut écrire 4 équations : deux d'entre elles sont des lois fondamentales de la physique (loi des mailles et Principe Fondamental de la Dynamique), les deux autres étant issues des lois sur l'électromagnétisme.

On définit les grandeurs propres au fonctionnement du moteur :

- · i(t): intensité (en Ampère) dans le bobinage du rotor du moteur
- · $u_{m(t)}$: tension (en Volt) aux bornes du moteur
- · $C_m(t)$: couple (en Nm) délivré par le moteur
- · Cr(t) : couple résistant (en Nm) vu par le moteur
- · $\omega_m(t)$: vitesse de rotation (en rad/s) du moteur
- · e(t): force contre électromotrice (en Volt) du moteur.
- · *L* : inductance de l'induit (s'exprime en Henri)
- · R: résistance électrique du moteur (en Ω)
- · *J*: inertie équivalente (en kg.m²) à l'ensemble mobile.
- · K_e : constante de couple et de force électromotrice (K_e en Vs/rad ou Nm/A)

Equation électrique :	$u_m(t) = e(t) + Ri(t) + L$	$\frac{di(t)}{dt}$	
Equation mécanique (PFD) :	$J\frac{d\omega_m}{dt}(t) = C_m(t) - C_r(t)$	c) = Cr	$m(t) - \mu . \omega m(t) - Cf - \cdots$
Equations de couplage :	$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)$ et	et C	$G_m(t) = K_e.i(t)$

- Un couple est une action mécanique qui crée ou s'oppose à la rotation d'un solide.
- Un couple résistant (Cr(t)) va donc avoir tendance à freiner un solide en rotation. On modélise souvent le couple résistant dû aux frottements en le décomposant en couple de frottement sec (Cf) et en couple de frottement visqueux $(\mu.\omega m(t))$ proportionnel à la vitesse de rotation.
- L'inertie (équivalente) traduit la difficulté d'accélérer un solide en rotation. Sa masse ainsi que ses dimensions radiales influent sur le moment d'inertie J.
- Q11. En comparant les conditions d'essais des activités 2 et 4 : Que perçoit le moteur lors du mouvement dans le cas où la cheville placée verticalement est équipée de la barre tibiale ?
- **Q12.** Comment modéliseriez-vous Le couple résistant (ou entrainant ici) vu par le moteur. Donner une expression approchée de ce couple (ou moment) en fonction de l'angle de tangage. Aidez-vous des informations apportées ci-dessous.

Notion de couple :

Force Couples : A force couple consists of two parallel forces of equal magnitude and opposite direction separated by a finite distance. The net result is a couple moment of magnitude M = Fd. It is important to realize that a couple moment is a free vector meaning that it can be shown at any point on the body as long as its magnitude and direction are not altered.



$$\left\| \overrightarrow{\mathbf{M}}_{\mathrm{B}}(\mathrm{Ext} \rightarrow \mathrm{porte}) \right\| = \left\| \overrightarrow{\mathbf{F}_{\mathrm{A}}} \wedge \overrightarrow{\mathrm{AB}} \right\| = \left\| \overrightarrow{\mathbf{F}_{\mathrm{A}}} \right\| d$$

Moralité : pour fermer une porte, on exerce une force Perpendiculairement à la porte le plus loin possible (à l'opposé) Des gonds. La force sera ainsi minimale.



Porte vue de dessus

force).

Le modèle schéma bloc de l'asservissement en tangage **perturbé** de la cheville est le suivant :



- Q13. Valider votre modèle de perturbation dû à la présence de la barre tibiale
- Q14. Quelle grandeur mécanique (parmi les constantes du « contexte » du modèle sous Scilab) a été affectée par l'installation de la barre tibiale sur la cheville. Quelle est son unité USI. Quelle influence a-t-elle sur la forme de la réponse (tester différentes valeurs sous scilab pour observer l'influence) ?
 - Lancer la simulation du fichier Modele connaissance perturbé Nao.zcos pour valider votre réponse précédente
- Q15. Valider votre modèle de perturbation et commenter les résultats de la simulation en comparant les réponses des deux modèles (avec ou sans perturbation) et de l'expérimentation.