

TD2 - Correcteur PI : Vision en réalité augmentée pour hélicoptère



Figure 1 : Hélicoptère NH90 équipé du système de vision en réalité augmentée

Contexte

Les hélicoptères sont des aéronefs dont l'un des intérêts est de pouvoir effectuer des vols proches du relief. Suivant les conditions climatiques (tempête de sable, brouillard ou vol de nuit par exemple), la propre vision du pilote et l'instrumentation de navigation classique peuvent être insuffisantes pour assurer la sécurité du vol. Pour pallier cela, la société Thalès propose un système de vision en réalité augmentée composée du casque TopOwl et d'un FLIR (*Forward Looking InfraRed*). La vision en réalité augmentée consiste à venir projeter sur la visière du casque TopOwl une image prise par une des caméras du FLIR. L'image projetée se superpose au paysage visible à travers la visière de façon à améliorer la vision du pilote.

Le FLIR est une boule optronique modulaire pouvant intégrer plusieurs capteurs différents dont une caméra thermique, une caméra couleur TV HD, ainsi qu'une caméra très bas niveau de lumière. Cet ensemble est orientable et gyrostabilisé, c'est-à-dire que les caméras sont capables de garder une même ligne de visée par rapport au référentiel terrestre, quels que soient les mouvements de l'hélicoptère NH90 qui sera appelé *porteur* dans la suite du sujet. Le casque TopOwl est placé sur la tête du pilote et le FLIR sur l'avant du porteur.

Modélisation de l'asservissement de l'étage fin d'élévation et conception de sa commande

Objectif : Compléter la modélisation de l'asservissement de l'étage fin d'élévation et ajuster un correcteur qui lui permette d'atteindre les performances attendues.

N.B : Une attention particulière sera portée sur les différentes notations et indices des grandeurs physiques mises en jeu.

Un gyromètre est placé directement sur l'étage fin d'élévation et permet de mesurer $\omega_{fe\text{ mes}}(t)$, taux de rotation de l'étage fin d'élévation par rapport au référentiel galiléen R_0 . Les ingénieurs ont donc choisi d'asservir l'étage fin d'élévation en vitesse angulaire afin d'utiliser directement la mesure du gyromètre.

La direction de la ligne de visée est paramétrée par rapport au référentiel galiléen R_0 par l'angle $\theta_{fe0}(t) = \theta_{e0}(t)$

Sont donnés les éléments suivants :

- $\dot{\theta}_{fe0}(t) = \omega_{fe0}(t) = \overrightarrow{\Omega_{fe/R_0}} \cdot \overrightarrow{y_e}$, où $\overrightarrow{\Omega_{fe/R_0}}$ est le vecteur taux de rotation de l'étage fin d'élévation (fe) dans son mouvement par rapport au référentiel terrestre R_0
- le comportement du gyromètre, placé directement sur l'étage fin d'élévation, peut être modélisé par un premier ordre de gain unitaire et de bande passante à -3 dB égale à 100 Hz
- l'étage fin d'élévation (fe) est actionné par un moteur électrique linéaire comme indiqué sur la figure 2, dont la tige est en liaison sphérique en A avec l'étage fin d'élévation et le carter en liaison sphérique en B avec l'étage gros d'élévation
- l'isolement de la tige seule du moteur électrique linéaire permet de modéliser son action mécanique de liaison en A sur l'étage fin d'élévation par un glisseur au point A de résultante $F_{mot}(t) \cdot \vec{u}$
- l'étage fin d'élévation (fe) est en liaison pivot d'axe $(P, \overrightarrow{y_e})$ avec l'étage gros d'élévation (ge)
- $\overrightarrow{AP} = r \cdot \overrightarrow{x_e}$ avec $r = 10$ cm
- $\lambda(t)$ paramètre la position de la tige par rapport au carter du moteur électrique linéaire tel que $\overrightarrow{BA} = \lambda(t) \cdot \vec{u}$

Le choix de la motorisation de l'étage fin d'élévation permet d'atteindre des accélérations importantes mais l'amplitude du mouvement de l'étage fin d'élévation (fe) par rapport à l'étage gros d'élévation (ge) est limitée à l'intervalle $[-5^\circ, +5^\circ]$. Il est donc nécessaire d'orienter également l'étage gros d'élévation (ge) grâce au moteur à courant continu de la figure 2.

Hypothèses :

- le porteur est en translation suivant $\overrightarrow{Z_0}$ par rapport au référentiel galiléen R_0
- l'étage gros d'élévation (ge) est fixe par rapport au porteur, c'est-à-dire que $\dot{\theta}_{ge0}(t) = \omega_{ge0}(t) = 0$ et $\theta_{ge0}(t) = a$, avec a un angle constant
- l'orientation de l'étage gros d'élévation (ge) est telle que $\vec{u} \approx \overrightarrow{z_e}$
- la liaison pivot entre l'étage fin d'élévation (fe) et l'étage gros d'élévation (ge) est parfaite

- le moment d'inertie de l'étage fin d'élévation (fe) autour de l'axe $(P, \vec{y}_e)$ est noté $B_{fe} = 0,1 \text{ kg.m}^2$
- le centre de gravité de l'étage fin d'élévation (fe) est considéré en P , c'est-à-dire que $P = G_{fe}$
- $\vec{V}_{A,fe/ge} = v_{tige}(t) \cdot \vec{z}_e$ avec $\dot{\lambda}(t) = v_{tige}(t)$ et $\vec{u} \approx \vec{z}_e$
- $\vec{V}_{A,ge/R_0} = \vec{V}_{P,ge/R_0} = v(t) \cdot \vec{Z}_0$

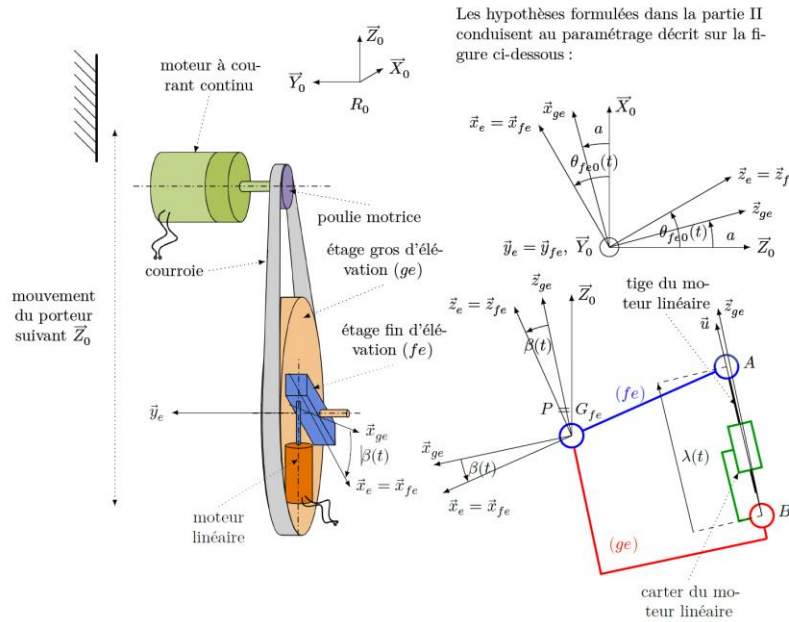


Figure 2 : Structure et paramétrage des étages fin et gros de l'axe motorisé d'élévation

Dans la suite, les conditions de Heaviside sont vérifiées.

Après application du théorème du moment dynamique à l'étage fin d'élévation (fe), l'équation du mouvement est la suivante :

$$B_{fe} \ddot{\theta}_{feo} = r F_{mot}$$

Q1 : En déduire l'expression littérale de la fonction de transfert $\frac{\Omega_{feo}(p)}{F_{mot}(p)}$ de la figure 3 ainsi que les expressions de M_{eq} et K_1 . Effectuer les applications numériques.

On rappelle que le gyromètre, placé directement sur l'étage fin d'élévation, permet de mesurer $\omega_{feo \text{ mes}}(t)$.

Son comportement peut être modélisé par un premier ordre de la forme $\frac{1}{1 + \tau_{gyro} \cdot p}$ et de bande passante à -3 dB égale à 100 Hz.

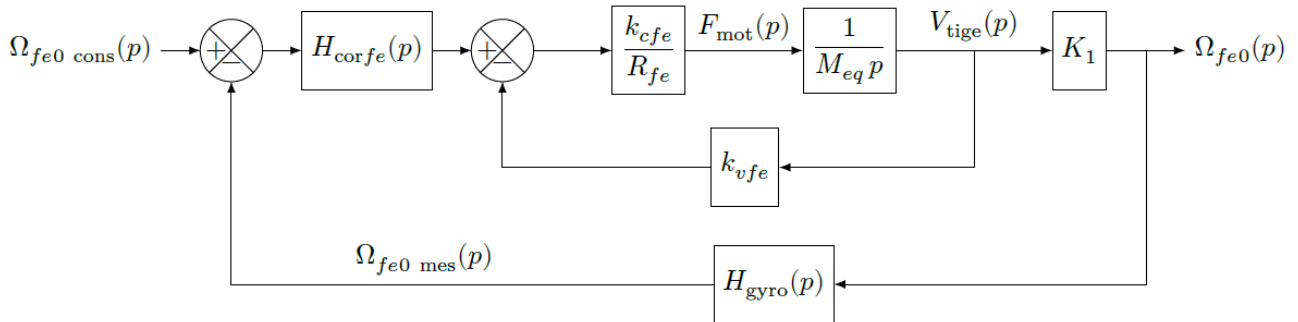
Q2 : Calculer la valeur numérique de τ_{gyro} .

Le modèle d'asservissement de l'étage fin d'élévation étant établi, il est alors possible de concevoir sa commande.

Conception de la commande de l'étage fin d'élévation

Les performances de l'étage fin d'élévation ont été déterminées à partir des performances du FLIR précédemment. Elles sont données dans le tableau de la figure 3.

La consigne de vitesse $\dot{\theta}_{fe0\ cons}(t) = \omega_{fe0\ cons}(t)$ est établie par rapport au référentiel galiléen R_0 . Elle est calculée à partir de la détection de posture (DDP du casque TopOwl) de la tête du pilote et des informations d'orientation du porteur par rapport au référentiel terrestre R_0 obtenues par la centrale inertielle du porteur.



Critère	Valeur
Temps de réponse à 5%	< 40 ms
Ecart statique	nul
Marge de phase	$\Delta\Phi = 60^\circ$

$$\begin{aligned}
 k_{cfe} &= 10,2 \text{ N}\cdot\text{A}^{-1} \\
 k_{vfe} &= 10,2 \text{ V}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1} \\
 \text{on note } K_{fe} &= k_{cfe} = k_{vfe} \\
 R_{fe} &= 7,5 \Omega
 \end{aligned}$$

Figure 3 : Modèle d'asservissement de l'étage fin d'élévation et performances attendues

Q3 : Exprimer littéralement et sous forme canonique la fonction de transfert $H_{fe1}(p) = \frac{\Omega_{fe0}(p)}{\Omega_{fe0\ cons}(p)}$, en fonction de K_1 , τ_{gyro} , M_{eq} , K_{fe} et R_{fe} .

Compte tenu des temps de réponse à observer, on montre que $H_{fe1}(p)$ peut se mettre sous la forme simplifiée suivante :

$$H_{fe1}(p) \approx \frac{0,5}{1 + 3,65 \cdot 10^{-1} p + 6 \cdot 10^{-4} p^2}$$

Q4 : En utilisant l'abaque de la figure 4, déterminer le temps de réponse à 5 % et l'écart statique de l'asservissement en vitesse de l'étage fin d'élévation en réponse à un échelon de vitesse unitaire. Conclure sur le respect des performances en rapidité et en précision données sur la figure 3.

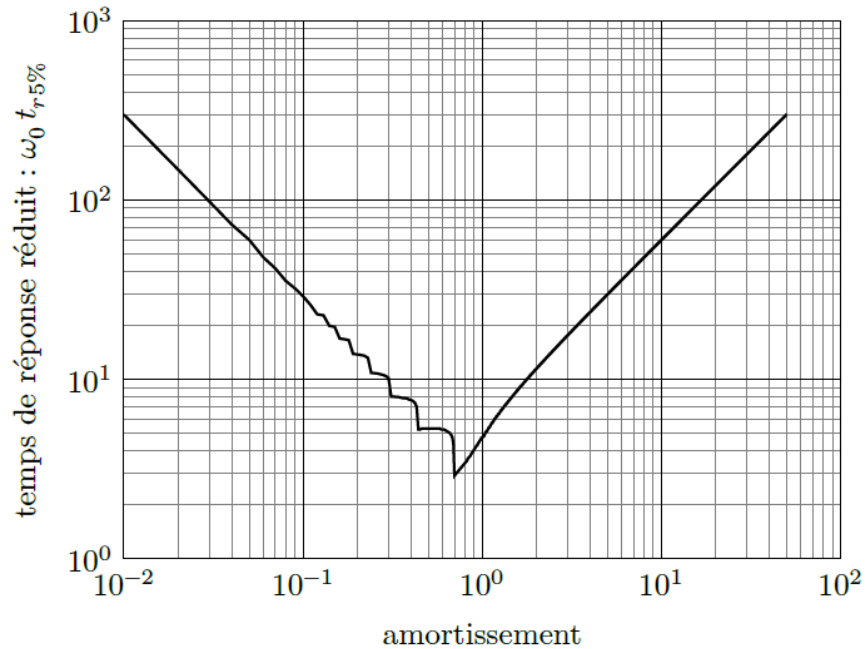


Figure 4 : Abaque des temps de réponse réduit

On propose d'utiliser un correcteur proportionnel intégral de la forme $H_{cor fe}(p) = K_{p fe} \left(1 + \frac{1}{T_{ife} p}\right)$.

La fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement en vitesse de l'étage fin d'élévation devient alors :

$$H_{BO fe}(p) = K_{p fe} \left(1 + \frac{1}{T_{ife} p}\right) \cdot \frac{1}{1 + 0,75 \cdot p} \cdot \frac{1}{1 + 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot p}$$

La figure 5 ci-après correspond aux tracés des diagrammes de Bode réels de $H_{BO fe}(j\omega)$ pour $K_{p fe} = 1$ et $T_{ife} = 0,1$ s, puis $T_{ife} = 0,01$ s.

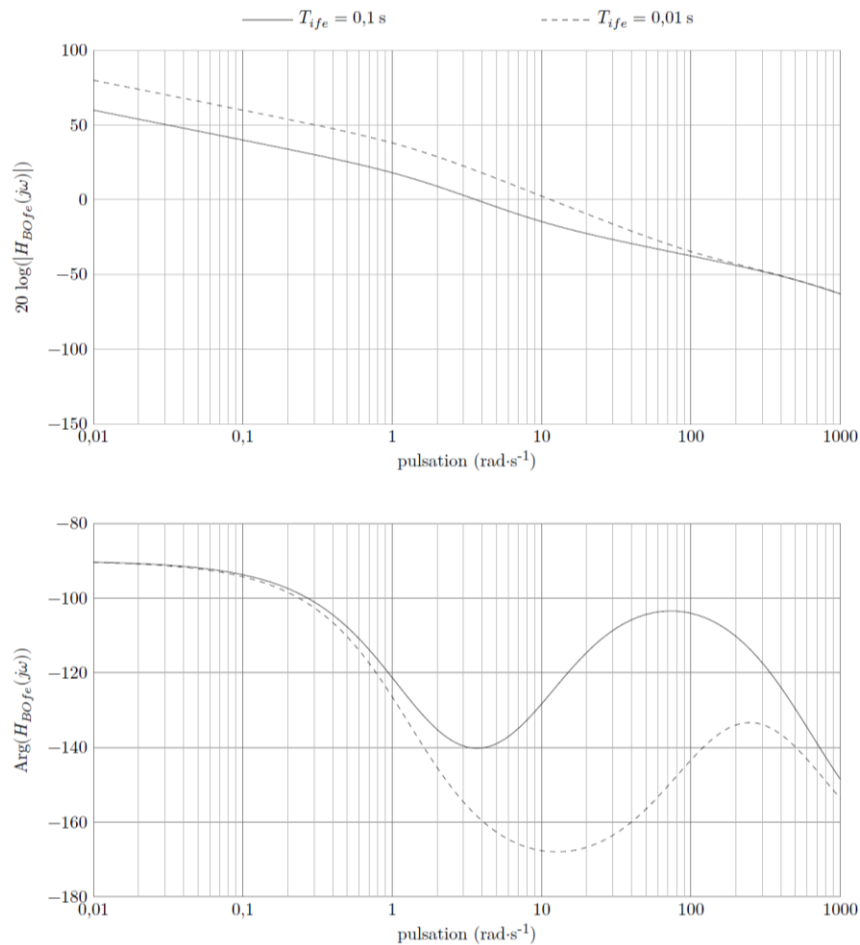


Figure 5 : Diagramme de Bode de HBO_{fe} pour $T_{ife} = 0,1$ s (trait plein) et $T_{ife} = 0,01$ s (pointillés)

Q5 : Sur cette même figure, tracer le diagramme de phase asymptotique de $HBO_{fe}(j\omega)$ (Bode) pour $T_{ife} = 0,1$ s, en indiquant la pulsation $1/T_{ife}$.

La lecture du tracé réel de la phase met en évidence un maximum à la pulsation ω_{max} telle que $\omega_{max} \in [1/T_{ife} ; 600]$ rad/s.

Q6 : Pour placer correctement le correcteur, on se propose de suivre la méthode suivante :

Pour $\omega > 1$ rad/s, on se rend compte que la courbe admet deux bosses, soit deux extrema.

- On cherche alors à ce que la largeur des deux bosses soit identique. Pour cela, déterminer la pulsation qui permet de séparer les deux bosses avec des largeurs identiques (en s'aidant du diagramme asymptotique).
- A partir de cette pulsation, en déduire T_{ife} comprise dans la décade $[0,01 \text{ s} ; 0,1 \text{ s}]$.
- Pour la seconde bosse, le maximum sera réglé à -120° . Déterminer graphiquement la pulsation ω_{max} pour laquelle le maximum est atteint, en supposant que le tracé réel semi-logarithmique de la phase est symétrique autour de ω_{max} .

Q7 : Pour le réglage de T_{ife} calculé à la question 6 avec $K_{pfe} = 1$ et à partir des tracés réels, calculer la valeur de K_{pfe} qui permet de respecter le critère de marge de phase du tableau de la figure 3.