**Régu séance 4**

Le régulateur PID

Le **régulateur PID** est composé de trois actions : proportionnelle (P), intégrale (I) et dérivée (D). Chacune de ces actions a un effet différent sur le comportement du système asservi :

* L'action **proportionnelle** (**P**) produit une **correction proportionnelle à l'écart entre la valeur mesurée et la valeur désirée**. Elle permet de réduire rapidement cet écart, mais elle peut aussi provoquer des oscillations ou un dépassement de la consigne.
* L'action **intégrale** (**I**) produit une **correction proportionnelle à l'intégrale de l'écart dans le temps**. Elle permet d'augmenter la classe du système (=> éliminer par exemple l'erreur statique si le système est de classe 0). Elle peut aussi augmenter le temps de réponse ou la sensibilité aux perturbations.
* L'action **dérivée**(**D**) produit une **correction proportionnelle à la dérivée de l'écart par rapport au temps**. Elle permet d'anticiper les variations futures de l'écart et d'amortir les oscillations ou les dépassements. Elle peut aussi amplifier le bruit ou les variations rapides du signal mesuré.

Un régulateur PID est donc un compromis entre ces trois actions, qui doivent être réglées selon les caractéristiques du système asservi et les performances souhaitées. Il existe des méthodes empiriques ou analytiques pour déterminer les paramètres optimaux du régulateur PID.

Un régulateur PID est très utilisé dans l'industrie et dans divers domaines d'application, car il présente plusieurs avantages :

* Il est simple à mettre en œuvre et à comprendre.
* Il est robuste face aux variations des paramètres du système asservi ou aux perturbations extérieures.
* Il peut s'adapter à différents types de systèmes linéaires ou non linéaires, continus ou discrets, monovariables ou multivariables.
* Il peut offrir des performances satisfaisantes pour des objectifs variés : stabilité, précision, rapidité, etc.

Afin de bien comprendre l'utilité et la manière donc chaque paramètre d'un correcteur PID influence le comportement d'un système asservi, voici une vidéo (*in English*) présentant ce correcteur d'une manière intuitive :

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Exemple : imaginons que l’on est au bout d’un terrain de foot et qu’on veut aller au milieu du terrain qui est 50 m plus loin. Dans ce cas nous somme le « plant ».

Le actuating signal ou signal actionné sont notre vitesse et la direction vers laquelle on marche. La sortie est la distance à laquelle on est. En entrée, on met 50 m.

L’erreur au départ est de 50 m.

Le contrôleur c’est notre cerveau qui commande la vitesse des jambes. Et ce que le cerveau utilise pour commander est l’erreur à son entrée au moment présent pour décider la vitesse de marche. Par exemple ici, la vitesse au début sera de 5m/s u que l’erreur est de 50-0=50 m.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

On parle de contrôleur proportionnel. Quand nous sommes loin du milieu du terrain (au début quoi), on réduit l’erreur rapidement et au fur et à mesure que l’on s’approche du centre, l’erreur diminue moint fort.

De cette façon , on atteindrait finalement et asymptotiquement les 50m, u moment où l’erreur serait nulle et le contrôleur proportionnel multiplierait cela par 0.1 ce qui donnerait une vitesse de 0 m/s.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Si nous voulions ajuster le temps qu’il nous a fallu pour atteindre l’objectif, on pourrait augmenter ou diminuer le terme mutliplicatif.

Avec ce type de contrôleur, quelle que soit la valeur de jeu choisie, on sait qu’on s’arrêtera sur la ligne de but tout juste.

Ca semble génial… 2eme exemple

Imaginons qu’on veut contrôler l’altitude d’un drône :

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Avec ce contrôleur, au début c’est nickel, la vitesse augmente fort ce qui est normal vu que l’erreur est grande

Une image contenant texte

Description générée automatiquement

A 50m, l’erreur est nulle 🡪 v = 0 🡪 le drône tombe…

Quand cela arrive, la vitesse de l’hélice recommence à augmenter car l’erreur augmente.

Il y a une certaine vitesse pour laquelle la force de levage est égale au poids du drône 🡪 le drône plane à cette v.

Ce qui va fixer la distance à laquelle le drone va planer est donc cette vitesse qui est commandée par le facteur multiplicatif de l’erreur.

Si le contrôleur vaut 2 et que la vitesse de stabilisation est de 100, alors le drône se stabilise au sol.

Une image contenant texte

Description générée automatiquement

Avec un contrôleur de 5 Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Peu importe, à quel point nous avons augmenté le gain, l’erreur ne disparaitra pas. Elle deviendra de + en + petite avec ce contrôleur mais elle ne disparaitra jamais.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Conclusion : contrôleur prop est bien mais pas pour tout car il crée une erreur constante = erreur d’état stable. Comment enlever cette erreur en régime permanent ? Nous pouvons laisser le contrôleur utiliser les informations passées en ajoutant spécifiquement un chemin d’intégrateur dans notre contrôleur qui est // au contrôleur prop.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Un intégrateur résume le signal d’entrée dans le temps en conservant le total cumul 🡪 il a en mémoire ce qu’il s’est passé avant. Si le drône occupe mtn une position stable en dessous de la hauteur demandée (ici 50 m), le terme de l’erreur est non nul et quand il est intégré la sortie augmentera.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

A 50 m :

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Le terme prop ne bouge pas mais le terme dérivé additionne et soustrait des valeurs jusqu’à arriver à 100 rpm. Après, la sortie de l’intégrateur ne bougera plus puisque on a 0 en entrée.

Imaginons qu’on soit juste en dessous des 50 m :

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Si l’intégrateur dépasse les 100 rpm pour arriver aux 50 mètres, il va monter ce qu’on veut puisqu’il n’a pas encore atteint les 50m. Cependant, pour compenser cet excès de vitesse, il devra aller un peu plus haut que 50m pour créer une erreur négative. En additionnant avec cette erreur négative l’erreur de base, la vitesse diminue.

On ajoute une branche pour corriger cet effet qui peut ne pas être voulu.

Une image contenant diagramme

Description générée automatiquement

Une dérivée produit une mesure du taux de variation d’erreur c’est-à-dire la vitesse à laquelle l’erreur augmente ou diminue.

Par exemple, si le drône monte rapidement et s’approche rapidement de l’objectif, cela signifie que l’erreur diminue rapidement. Cette erreur décroissante a un taux de changement négatif, ce qui produira une valeur négative à travers notre chemin de dérivées. Cette valeur négative sera ajoutée à la sortie des contrôleurs donc la vitesse de l’hélice baisse.

Le contrôleur utilise une valeur de changement pour déterminer que nous nous rapprochons trop rapidement de notre objectif puis ralentissons prématurément la vitesse de l’hélice, empêchant le drône de dépasser.

Impacts des différents paramètres d'un régulateur P  
  
Concernant le correcteur proportionnel **P**, vous avez normalement pu observer :

**En régime statique,** une augmentation du gain entraîne une **diminution de l’erreur**.

**En régime dynamique,** cette augmentation de gain rend le système **plus rapide** mais, au-delà d’une valeur limite, elle **augmente l’instabilité** du système.

L’effet sur la **réponse fréquentielle** se traduit par une **translation en module de la réponse**.

**L’inconvénient**du correcteur proportionnel est son **incapacité à annuler l’erreur en régime permanent** (d’un système de classe 0 ne possédant aucun pôle à l’origine) lorsque la grandeur d’entrée est de type échelon (erreur statique).

Impacts des différents paramètres d'un régulateur PI

Concernant le correcteur proportionnel **PI** :  
  
**Pour**t→∞ (**régime statique** ou permanent) : l’effet du terme intégral est prépondérant : il **annule l’erreur statique**.

**Pour**t→0 (**régime dynamique** ou transitoire) : nous avons vu que le terme intégral avait pour inconvénient d’**augmenter le temps de réponse** (système moins rapide), et d’**augmenter l’instabilité** (introduction d’un déphasage supplémentaire de -90°). Le rôle de la partie P du correcteur PI est de remédier à ces inconvénients.

Par ailleurs, le terme intégral permet de **filtrer la variable à régler** d'où l'utilité pour le réglage des variables bruitées telles que la pression.

mpacts des différents paramètres d'un régulateur PD

Les effets que présente un correcteur **PD** sont les suivants :

* **En régime dynamique,** l’intérêt principal de la correction dérivée est de s’opposer aux grandes variations de l’erreur (donc aux oscillations) puisque le correcteur D modifie la grandeur de réglage en fonction de la vitesse de variation du signal d’erreur (en pratique, l’impulsion est limitée à la constante de temps τD). Elle permet donc de **stabiliser** le système et d’**améliorer le temps de réponse**.
* **En régime statique** (entrée en échelon ou évolution constante) : le D n’intervenant que sur la dérivée de l’erreur, si l’erreur est constante, le dérivateur n’a aucun effet, c’est donc le terme P qui agit en régime établi.

**Problèmes liés à l'action dérivée**

* L’action dérivée permet de compenser les inerties dues au temps mort, d’**accélérer la réponse du système**et d’**améliorer la stabilité de la boucle**. Elle contribue notamment à **amortir rapidement les oscillations** provoquées par une perturbation ou une variation soudaine de la consigne. L’action dérivée est utilisée dans l’industrie pour le réglage des **variables lentes**, comme la température. Elle n’est **pas recommandée** pour le réglage d’une variable bruitée ou trop dynamique, comme la pression. En effet, en dérivant un bruit, on **risque d’augmenter son amplitude au point de masquer le signal utile**.
* Souvent, la consigne varie par paliers (type échelon) et donc le signal d’erreur change également par sauts brusques. L’effet du terme dérivé est alors théoriquement infini, ce qui peut saturer le régulateur et le rendre insensible aux variations du signal. En pratique, on préfère souvent lier l’action du dérivateur **aux variations de la grandeur à régler seule** et non à l’écart mesure-consigne (erreur), afin d’éviter les à-coups dus à une variation subite de la consigne.

Le correcteur **PID** se comporte :

* Pour les **basses fréquences** comme un **intégrateur**donc le système sera précis d’un point de vue statique.
* Pour les **hautes fréquences** comme un **dérivateur** qui introduit une avance de phase de +90° donc une amélioration de la stabilité.
* Il a donc pour effet (sur toutes les fréquences) d'**annuler l'erreur statique** (en augmentant la classe du système), de **stabiliser** le système et d'**augmenter sa rapidité**.