

A 4 foils hydrofoiler regulation solution

John Q. Doe *

Department of Something
Somewhere University
Somewhere, AL 90210
doe@something.somewhere.edu

Coauthor

Affiliation
Address
email

Coauthor

Affiliation
Address
email

Coauthor

Affiliation
Address
email

Coauthor

Affiliation
Address
email
(if needed)

Abstract

The abstract should be one paragraph. It should summarize the problem, approach, and significance of the results.

1 Introduction

2 Rpartiteur priorit

Dans cette partie, je vais prsenter un developpement de ma thse qui a merg suite aux premires exprimentations Mayotte (voir Chapitre experimentation). La saturation des actionneurs est un probleme dans les conditions relles d'exprimentation. En effet, lorsque les perturbations extrieurs sont importantes (courants), les asservissements conduisent saturer les consignes des moteurs, ce qui induit un comportement erratique du robot, pouvant mener l'instabilit.. Pour repousser l'occurrence d'une telle situation, nous proposons le principe du rpartiteur priorit.

Comme nous l'avons introduit avant, le rpartiteur permet l'inversion de la relation entre les forces individuelles de chaque moteurs et la rsultante globale qu'ils produisent sur le systme (??) Dans la boucle de commande, partant des capteurs jusqu'aux moteurs, se trouve le rpartiteur. Le rpartiteur transforme les consignes de forces (longitudinale et angulaire) dsires pour le robot en consigne pwm appliquer sur chaque moteur en fonction de sa position 3D et de ses caractristiques. Je vais vous prsenter l'volution du rpartiteur au cours des exprimentations. Chaque rpartiteur sera simul selon deux protocoles.

La premire simulation consiste appliquer une force/couple constante sur les quatre axes F_u, F_v, G_p, G_q et un couple croissant sur G_r (voir tab :consigne_simulation_matrice). Cette simulation permet d'observer le comportement du rpartiteur lors de la saturation des moteurs.

La seconde simulation permet d'observer l'impact de la zone morte des moteurs sur la ralisation de la

*Use footnote for providing further information about author (webpage, alternative address). Acknowledgments to funding agencies should go in the **Acknowledgments** section at the end of the paper.

commande (Forces et Couples). Pour cela, la simulation impose une force/couple nulle sur les quatre axes F_u, F_v, G_p, G_q et un couple croissant sur G_r (voir tab :consigne_{simulation_matrice}l).

[Valeur de consigne pour les simulations]			Valeur de consigne pour les simulations		
Axe	Forces/Couples dsirs (simulation 1)		Forces/Couples dsirs (simulation 2)		
X	10N		0N		
Y	-10N		0N		
ϕ	3N/m		0N/m		
θ	3N/m		0N/m		
ψ	Croissant		Croissant		

Le premier rpartiteur initialement implment sur le robot est un rpartiteur gomtrique. Ce rpartiteur est une matrice de coefficient (voir 1) rpartissant directement les forces et couples dsirs sur les moteurs. Le principal dfaut de ce rpartiteur est la non gestion des zones mortes des moteurs (pwm minimum entrnant la rotation du moteur due aux frottements du systme d'tanchit sur l'axe).

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \\ F_9 \\ F_{10} \\ F_{11} \\ F_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.144338 & 0.25 & 0 & -0.606061 & 0.481125 & -5.38675 \\ 0.144338 & -0.25 & 0 & 0.606061 & 0.481125 & 5.38675 \\ -0.144338 & 0.25 & 0 & -0.60606 & -0.481125 & 5.38677 \\ -0.144338 & -0.25 & 0 & 0.606061 & -0.481125 & -5.38675 \\ 0.144338 & 0.25 & 0 & 0.606061 & -0.481125 & -5.38675 \\ 0.144338 & -0.25 & 0 & -0.606061 & -0.481125 & 5.38675 \\ -0.144338 & 0.25 & 0 & 0.60606 & 0.481125 & 5.38677 \\ -0.144338 & -0.25 & 0 & -0.606061 & 0.481125 & -5.38675 \\ 0 & 0 & -0.25 & -0.340909 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.25 & 0.340909 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.340909 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & -0.340909 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_u \\ F_v \\ F_w \\ F_p \\ F_q \\ F_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

Les rsultats de la premire simulation sont visibles sur la repartiteur_{geo}.Onobservequelesforces/coupledsirssontcorrectement

repartiteur_{geo}0.9SimulationauxlimitesdurpartiteurgomtriqueSimulationauxlimitesdurpartiteurgomtrique

De plus, la seconde simulation du rpartiteur gomtrique (voir repartiteur_{geo}z_m)metenvidencelanongestiondelazonemorte.Enel10et10depwm), lerobotnesubitaucuncouplerel.

repartiteur_{geo}z_m0.9SimulationdelazonemortedurpartiteurgomtriqueSimulationdelazonemortedurpartiteurgomtrique

Afin de pallier ce problme, un second rpartiteur fut implment. Celui-ci rajoute initialement un rgime commun aux moteurs avant de calculer leurs pwms. Ce rajout permet de dcaler les pwm en dehors de la zone morte et ainsi d'tre ractif lors des faibles demandes (forces et couples). Les rsultats de la premire simulation sont visibles sur la repartiteur_{jack}.Surcesrsultats, nousobservonsquelesconsignessontrespectestantqu'aucunmoteurnesature.Lorsqu'unmoteur

repartiteur_{jack}0.9SimulationauxlimitesdurpartiteuravecrigimoteurSimulationauxlimitesdurpartiteuravecrigimoteur

Les rsultats de la seconde simulation de ce second rpartiteur sont visibles sur la repartiteur_{jack}z_m.Onremarquequelerajoutdurigimoteureffectuebienl'efetsouhait, c'est direlerespectdesconsigneslorsdesfortesdemandes.

repartiteur_{jack}z_m0.9SimulationdelazonemortedurpartiteuravecrigimoteurSimulationdelazonemortedurpartiteuravecrigimoteur

Nous pouvons donc conclure que ce second rpartiteur rsout bien le problme de la zone morte mais le problme

de saturation demeure (et s'empire).

Afin de palier ce problème, nous avons travaillé sur une méthode permettant d'éviter la saturation des moteurs directement dans le répartiteur. En collaboration avec les experts biologistes, nous avons défini un ordre de priorité dans les forces globales du robot en adéquation avec le protocole. Dans le développement suivant, je présente la méthode dans le protocole *Transect* avec l'ordre de priorité suivant : l'axe le plus prioritaire est l'axe ψ puis θ puis ϕ afin de contrôler l'attitude de la caméra du robot dans l'alignement du transect (une erreur trop importante sur l'attitude pourrait rendre la mesure du transect invalide). Vient ensuite l'axe Y, assurant la régulation de la drive latérale du robot (une faible erreur latérale tant accepte). L'axe le moins prioritaire est l'axe X, définissant l'avance du robot le long du transect (une faible vitesse de la mesure n'influence pas la validité du transect).

Dans la méthode de calcul du répartiteur *priorit*, chaque moteur est caractérisé par plusieurs paramètres :

- Q_{mot_i} : Quaternion d'attitude du moteur par rapport au repère du robot, avec le moteur orienté selon l'axe X.
- P_{mot_i} : Position du moteur dans le repère du robot.
- F_{mot_i} : Consigne pwm du moteur, calculée par le répartiteur.
- C_{mot_i} : Coefficient de conversion entre la force générée par le moteur et sa commande en pwm ([-100; 100]).

Les limites physiques des moteurs sont définies selon ce formalisme :

- Pwm_{max} : Limite supérieure de saturation (en pwm)
- Pwm_{min} : Limite inférieure de saturation (en pwm)
- $Pwm_{zm_{max}}$: Borne supérieure de la zone morte centrale (en pwm)
- $Pwm_{zm_{min}}$: Borne inférieure de la zone morte centrale (en pwm)

Les forces globales désirées pour le robot sont définies par $F_{u,v,w,p,q,r}$.

La méthode de calcul des consignes moteurs du répartiteur *priorit* est définie par ces étapes :

1. **Calcul du régime moyen** : La première étape consiste à effectuer le calcul du régime moyen des moteurs, c'est-à-dire la consigne moyenne appliquée aux moteurs vectoriels ne provoquant pas de mouvement. Actuellement, ce calcul (voir équation 2) est statique à partir des limites physiques des moteurs. Une perspective serait d'effectuer ce calcul dynamiquement en aval afin de s'adapter aux consignes globales.

$$F_{defaut} = \frac{\frac{Pwm_{max} + Pwm_{zm_{max}}}{2} - \frac{Pwm_{min} + Pwm_{zm_{min}}}{2}}{2} \quad (2)$$

2. **Calcul des coefficients de chaque moteur sur chaque axe** : La seconde étape est le calcul du coefficient d'impact de l'action de chaque moteur sur chaque axe (longitudinal et angulaire). Ce coefficient est pondéré par le coefficient force/pwm du moteur (voir équations 4 pour les axes longitudinaux et 8 pour les axes angulaires). Le calcul est effectué pour une force moteur unitaire (voir équations 3 pour les axes longitudinaux et 6, 7 pour les axes angulaires). Si l'impact du moteur sur l'axe est trop faible (proche de zéro), le moteur est considéré comme non influant sur cet axe (voir équations 5 pour les axes longitudinaux et 8 pour les axes angulaires).

$$Q_{mot_axe_i} = Q_{mot_i} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes Q_{mot_i}^* \quad (3)$$

$$coef_i = Q_{mot_axe_i} \cdot C_{mot_i} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} coefX_i &= \begin{cases} \frac{1}{coef_{i(x)}} \\ 0 \text{ si } |coef_{i(x)}| < \epsilon \end{cases} & coefY_i &= \begin{cases} \frac{1}{coef_{i(y)}} \\ 0 \text{ si } |coef_{i(y)}| < \epsilon \end{cases} \\ & & coefZ_i &= \begin{cases} \frac{1}{coef_{i(z)}} \\ 0 \text{ si } |coef_{i(z)}| < \epsilon \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Vcouple_p &= [1 \quad 0 \quad 0] \wedge \underbrace{P_{mot_i}}_{\text{normalis}} & Vcouple_q &= [0 \quad 1 \quad 0] \wedge \underbrace{P_{mot_i}}_{\text{normalis}} \\ & & Vcouple_r &= [0 \quad 0 \quad 1] \wedge \underbrace{P_{mot_i}}_{\text{normalis}} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Freq_p &= \begin{bmatrix} Q_{mot_axe_i(x)} \\ Q_{mot_axe_i(y)} \\ Q_{mot_axe_i(z)} \end{bmatrix} . Vcouple_p & Freq_q &= \begin{bmatrix} Q_{mot_axe_i(x)} \\ Q_{mot_axe_i(y)} \\ Q_{mot_axe_i(z)} \end{bmatrix} . Vcouple_q \\ & & Freq_r &= \begin{bmatrix} Q_{mot_axe_i(x)} \\ Q_{mot_axe_i(y)} \\ Q_{mot_axe_i(z)} \end{bmatrix} . Vcouple_r \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} coefPcc_i &= ||P_{mot_i}|| . Freq_p . C_{mot_i} & coefQcc_i &= ||P_{mot_i}|| . Freq_q . C_{mot_i} \\ coefP_i &= \begin{cases} \frac{1}{coefPcc_i} \\ 0 \text{ si } |coefPcc_i| < \epsilon \end{cases} & coefQ_i &= \begin{cases} \frac{1}{coefQcc_i} \\ 0 \text{ si } |coefQcc_i| < \epsilon \end{cases} \\ & & coefRcc_i &= ||P_{mot_i}|| . Freq_r . C_{mot_i} \\ & & coefR_i &= \begin{cases} \frac{1}{coefRcc_i} \\ 0 \text{ si } |coefRcc_i| < \epsilon \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

3. **Correction des coefficients** : L'tape suivante consiste à homogénéiser les coefficients de tous les moteurs par axe afin de répartir la force désirée sur l'axe sur chaque moteur en fonction de leur impact sur cet axe. Pour effectuer cela, je calcule la somme de tous les moteurs sur l'axe (par exemple l'équation 9 pour l'axe X) puis j'homogénéise (équation 10). Si la somme des impacts de tous les moteurs sur un axe est proche de zéro, cela signifie qu'aucun moteur ne peut piloter cet axe, une erreur est envoyée à l'utilisateur et l'homogénéisation n'est pas effectuée.

$$sum_x = \sum_{i=0}^n |coefX_i| \quad (9)$$

$$coefX_i = \begin{cases} coefX_i \cdot \frac{|coefX_i|}{sum_x} \\ 0 \text{ si } sum_x < \epsilon \end{cases} \quad (10)$$

4. **Calcul des consignes moteurs** : Le calcul des consignes moteurs (pwm) est effectué sur chaque axe en commençant par l'axe le plus prioritaire. Nous présentons ici les équations pour le premier axe de l'exemple (F_u), la déclinaison sur les autres axes est identique. Dans un premier temps, l'algorithme effectue le calcul (équation 11a) de la force moteur à ajouter au régime commun (ou les autres axes précédemment calculés) grâce au coefficient corrigé. Le coefficient de compression (équation 11b) est initialement égal à 1 (aucune compression).

$$F_{mot_diff_i} = F_u . coefX_i \quad comp_i = 1 \quad (11)$$

Dans une second temps, si un moteur a une valeur en dehors des limites ou dans la zone morte, l'algorithme calcul le coefficient de compression appliquer afin de rendre la valeur pwm du moteur valide. Pour cela, quatre cas sont possibles :

La force moteur initiale est ngative et la force nouvelle rajoute ngative fait basculer la force totale au del de la limite infrieure (equation 12). Dans ce cas, le nouveau coefficient de compression pour ce moteur est calcul par l'equation 13.

$$F_{mot_diff_i} < 0 \quad F_{defaut} + F_{mot_diff_i} * comp_i < Pwm_{min} \quad (12)$$

$$new_comp_i = comp_i \cdot \min(1, \frac{Pwm_{min} - F_{defaut}}{F_{mot_diff_i} * comp_i}) \quad (13)$$

La force moteur initiale est ngative et la force nouvelle rajoute positive fait basculer la force totale dans la zone morte (quation 14). Dans ce cas, le nouveau coefficient de compression pour ce moteur est calcul par l'equation 15.

$$F_{mot_diff_i} > 0 \quad F_{defaut} + F_{mot_diff_i} * comp_i \in]Pwm_{zm_min}; Pwm_{zm_max}[\quad (14)$$

$$new_comp_i = comp_i \cdot \min(1, \frac{Pwm_{zm_min} - F_{defaut}}{F_{mot_diff_i} * comp_i}) \quad (15)$$

La force moteur initiale est positive et la force nouvelle rajoute ngative fait basculer la force totale dans la zone morte (quation 16). Dans ce cas, le nouveau coefficient de compression pour ce moteur est calcul par l'equation 17.

$$F_{mot_diff_i} < 0 \quad F_{defaut} + F_{mot_diff_i} * comp_i \in]Pwm_{zm_min}; Pwm_{zm_max}[\quad (16)$$

$$new_comp_i = comp_i \cdot \min(1, \frac{Pwm_{zm_max} - F_{defaut}}{F_{mot_diff_i} * comp_i}) \quad (17)$$

La force moteur initiale est positive et la force nouvelle rajoute positive fait basculer la force totale au del de la limite superieure (quation 18). Dans ce cas, le nouveau coefficient de compression pour ce moteur est calcul par l'equation 19.

$$F_{mot_diff_i} > 0 \quad F_{defaut} + F_{mot_diff_i} * comp_i > Pwm_{max} \quad (18)$$

$$new_comp_i = comp_i \cdot \min(1, \frac{Pwm_{max} - F_{defaut}}{F_{mot_diff_i} * comp_i}) \quad (19)$$

Dans un troisieme temps, maintenant que les coefficients de tous les moteurs sont calculs et pour garder la valeur originale de consigne, le coefficient de compression est homognis tous les moteurs. Pour cela, le coefficient de compression le plus fort (c'est dire le plus proche de zro) est appliqu tous les moteurs. Le calcul des coefficients et leurs homognisations sont rpts autant de fois que ncessaire pour obtenir toutes les valeurs des moteurs valides.

Finalement, la nouvelle valeur de chaque moteur est calcule avec le coefficient de compression final et cette valeur devient la force par dfaut pour le calcul de l'axe suivant dans l'ordre des priorit.

Les rsultats de la premire simulation sur le rpartiteur priorit sont visibles sur la repartiteur_{prio}. Nous observons que les consignes sont correctement suivies lors que les moteurs saturent pas. Lorsqu'un moteur

repartiteur_{prio} 0.9 Simulation aux limites du rpartiteur priorit Simulation aux limites du rpartiteur priorit

Les rsultats de la seconde simulation sont visibles sur la repartiteur_{prio_z}. Nous observons qu' autour de la zone morte, les faibles

repartiteur_{prio_z} 0.9 Simulation de la zone morte du rpartiteur priorit Simulation de la zone morte du rpartiteur priorit

Rflechir mettre les deux graph sur la meme page en horizontale

Acknowledgments

Special thanks to Numev, R2C...

References