

Comparaison d’algorithmes de détection assurant la sécurité de l’utilisateur, lors du déplacement d’un ouvrant piloté automobile.

Frédéric MANGONNEAUX^{1,2}, Hervé GUÉGUEN², Pierre-Yves RICHARD², Cédric NOUILLANT¹

¹PSA Peugeot Citroën
Route de Gizy, 78943 Vélizy-Villacoublay, France

²SUPELEC
CS47601, 33576 Cesson-Sévigné cedex, France

¹ prenom.nom@mpsa.com, ² prenom.nom@supelec.fr

Résumé— Dans cet article, nous comparons deux algorithmes de détection réalisant la fonction d’anti-pincement pour un ouvrant piloté automobile. La comparaison est réalisée sur un modèle de Porte Latérale Coulissante Motorisée qui permet d’étudier la robustesse des algorithmes lorsque les paramètres physiques varient autour de leur valeur nominale. La première méthode donne de l’importance à l’information issue du capteur ; c’est la méthode de référence dont le but est de prédire le fonctionnement du système. La seconde méthode se base sur une connaissance de la physique du système permettant la modélisation de l’effort de pincement. Sa calibration dépend directement des objectifs en terme d’effort de pincement.

Mots-clés— Automobile, ouvrant piloté, détection, anti-pincement.

I. INTRODUCTION

A. La tendance croissante de l’introduction des ouvrants pilotés

Depuis quelques années, les ouvrants pilotés équipent de plus en plus de véhicules, comme par exemple :

- les lève-vitres électriques (LVE),
- les toits ouvrants,
- les toits escamotables,
- les portes latérales coulissantes motorisées (PLCM),
- les coffres motorisés.

Cette tendance va s’accroître fortement dans les années à venir car les ouvrants pilotés sont une grande source d’attrait pour le client. Ils présentent des avantages en termes de praticité, et constituent des atouts concurrentiels en termes d’image et aussi comme facteurs de différenciation.

B. Les risques et enjeux automobiles

Le pilotage automatisé des ouvrants reporte la responsabilité sur le système de contrôle-commande en cas de dysfonctionnement (perte de fonctionnalité ou pincement) et non sur le conducteur ou les passagers comme c’est le cas avec un système classique et/ou sur les systèmes pilotés dit d’assistance. Dans ce dernier cas, l’utilisateur arrête l’ouvrant lorsqu’il cesse son action sur celui-ci.

Il faut donc assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d’ouvrant piloté automatisé, sinon, le système

pourrait blesser un occupant. Un certain nombre de réglementations donnent les contraintes maximales admissibles pour garantir l’intégrité des utilisateurs, ainsi que les procédures de vérification à mettre en oeuvre, [1] et [2].

Une mauvaise conception est donc un frein au déploiement de ces systèmes, ce qui n’est pas souhaitable compte tenu de leur attrait croissant. Il est nécessaire, pour le constructeur automobile de spécifier des exigences plus pointues pour des systèmes robustes et sûrs de fonctionnement.

C. Problématique

La problématique est alors de réaliser *le pilotage du déplacement de l’ouvrant* tout en *garantissant la sécurité de l’utilisateur*.

Le cahier des charges devra définir pour l’asservissement, le temps de manoeuvre de l’ouvrant, les contraintes du système vis-à-vis de l’accélération maximale de l’ouvrant, les contraintes par rapport au ressenti de l’utilisateur, ou encore les contraintes mécaniques liées à la fermeture de l’ouvrant. Toutes ces contraintes de développement peuvent se traduire en contraintes sur la consigne de vitesse, mais aussi sur l’accélération.

Il faudra d’autre part prendre en compte les nombreuses dispersions, qu’elles soient liées à la fabrication et au montage ou aux variations de l’environnement d’utilisation. L’ouvrant doit se mouvoir sans difficultés et toujours garantir la sécurité de l’utilisateur. L’objectif va être de rejeter au mieux toutes ses perturbations, pour garantir une qualité de déplacement constante à l’utilisateur. Par contre, lors de l’impact avec un obstacle, il faudra être très réactif¹, pour que la sécurité de l’utilisateur soit garantie. La qualité de la détection se mesure à partir de trois critères principaux, le ratio de fausses détections², le ratio de non-

¹Le temps de détection sera de l’ordre de la centaine de millisecondes pour une porte latérale coulissante motorisée

²Une fausse détection, appelée aussi obstacle "fantôme", est le fait de détecter un obstacle alors qu’il n’y en a pas. Dans ce cas, le système ne peut poursuivre correctement sa trajectoire.

détection³, l'effort maximum appliqué à l'obstacle en cas de choc. L'enjeu sera alors de réduire au maximum la gêne occasionnée.

Nous trouvons dans la littérature, deux approches pour la détection : la détection directe, qui utilise un capteur spécifique à la détection d'obstacle, [1], et la détection indirecte qui va nous intéresser car elle ne nécessite pas l'implantation de capteur supplémentaire.

Le principe de détection indirecte, commun à la faible littérature scientifique sur le sujet, est basé sur l'estimation du couple moteur, qui est par la suite comparée à un seuil pour décider de la détection ou non d'un obstacle, [3], [4], [5]. Il existe par contre de nombreux brevets industriels sur le sujet, utilisant de différentes manières l'information issue du seul capteur présent en série, [6], [7] et [8].

Pour répondre à la problématique, la section II présente la modélisation d'un ouvrant piloté. Puis, la section III propose deux principes de détection. Enfin, la section IV compare les deux méthodes.

II. LA MODÉLISATION

Pour fixer un point de départ aux travaux sur les ouvrants, le choix d'un exemple représentatif s'est porté sur la PLCM. La problématique de la PLCM est généralisable, pour l'essentiel, aux autres ouvrants pilotés.

A. La modélisation

Pour le développement et la simulation de nouvelles méthodes, un modèle de la PLCM est nécessaire.

Sur la figure 1 est schématisé un descriptif du principe de fonctionnement macroscopique de la PLCM.

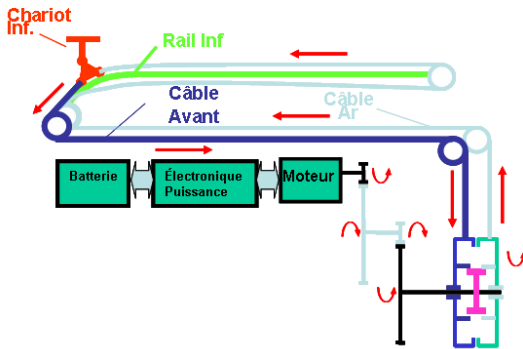


Fig. 1

SCHÉMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DE LA PLCM.

L'actionneur est un moteur électrique à courant continu, qui tire sa puissance de la batterie du véhicule. Ensuite, la mise en mouvement de la porte est réalisée à l'aide de deux câbles en opposition, en fonction du sens de déplacement de la porte. La transmission entre le moteur électrique et les câbles est effectuée avec des engrenages ainsi que par un tambour, pour permettre d'enrouler et de dérouler les câbles [9].

Deux modèles ont été développés :

³Une non-détection est le fait de ne pas détecter la présence de l'obstacle. Dans ce cas, le système continue son déplacement jusqu'à saturation de l'effort sur l'obstacle.

- Un modèle complet qui reproduit le plus fidèlement possible le comportement du système. Il sera utilisé pour simuler le comportement général d'une PLCM en simulation,
- Un modèle simplifié, utile dans une première approche, pour le développement de lois de commande et d'algorithmes de détection.

A.1 Le modèle complet.

Le modèle complet a été développé à l'aide de Matlab/Simulink et il prend en compte le maximum de phénomènes physiques liés au déplacement de la PLCM [10], [3]. Il est de fait considéré comme sensible et confidentiel.

Ce modèle a été développé en particulier pour réaliser les simulations du comportement de la PLCM. Avec ce modèle, des stratégies de commande, des principes de détection peuvent être testés virtuellement car les variations avec le moyen d'essai réel seront minimales.

Pour réaliser tout ceci, ce modèle prend en compte les différents éléments suivants :

- la géométrie de la porte,
- l'interface avec la voiture,
- les points de contact entre les éléments mobiles et les éléments fixes,
- les frottements dus aux différents points de contact,
- les frottements et amortissements de la chaîne d'actionnement,
- l'interface avec l'extérieur comme la pente et le dévers,
- la position et la raideur de l'obstacle.

Ce modèle a été validé et recalé par rapport au système physique. Pour plus de détails sur les procédures et les critères de validations nous conseillons la lecture de [10]. Par la suite, le modèle complet remplacera l'ouvrant dans les simulations.

A.2 Le modèle simplifié

Lors d'une première approche, il est intéressant de disposer d'un modèle linéaire, pour synthétiser plus facilement de nouvelles lois de commande ou encore pour développer de nouveaux algorithmes de détection.

Le schéma bloc de la figure 2 représente le principe de fonctionnement général de la PLCM avec une modélisation de l'obstacle.

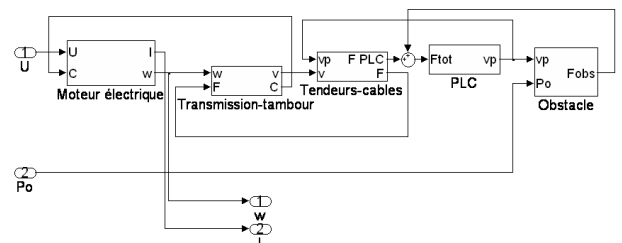


Fig. 2

SCHÉMA BLOC DU MODÈLE LINÉAIRE AVEC UN MODÈLE DE L'OBSTACLE.

Les différentes variables qui seront utilisées pour la modélisation du système, sont décrites dans le tableau I.

Voici la mise en équation du modèle simplifié.

U	Tension de commande du moteur électrique
i	Courant du moteur électrique (courant d'induit)
ω	Vitesse de rotation du moteur électrique
L	Inductance du moteur électrique
r	Résistance du moteur électrique
K_e	Constante de force contre électromotrice
K_c	Constante de couple du moteur électrique
C	Couple résistant lié à la porte
J	Inertie du moteur électrique
M_f	Amortissement du moteur électrique
v	Vitesse linéaire des câbles
k_r	Rapport de transmission entre le moteur électrique et les câbles
F	Effort résistant lié à la porte
v_p	Vitesse de la porte
N_c	Coefficient d'élasticité des câbles
F_{PLC}	Effort transmis à la porte par les câbles
F_{tot}	Effort total s'appliquant sur la porte
M_p	Masse de la porte
b_t	Amortissement de la porte
F_{obst}	Effort appliqué sur l'obstacle
P_o	Position de l'obstacle
P_p	Position de la porte
K_o	Raideur de l'obstacle

TABLE I
DESCRIPTION DES VARIABLES UTILISÉES

Équation électrique du moteur électrique :

$$U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + ri(t) + K_e \omega(t) \quad (1)$$

Equation mécanique du moteur électrique :

$$C(t) + K_c i(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + M_f \omega(t) \quad (2)$$

Les équations liées à la transmission et au tambour sont :

$$v(t) = k_r \omega(t) \quad (3)$$

$$C(t) = k_r F(t) \quad (4)$$

L'équation liée au coefficient d'élasticité des câbles et aux tendeurs est :

$$(v(t) - v_p(t))N_c = \frac{dF_{PLC}(t)}{dt} = - \frac{dF(t)}{dt} \quad (5)$$

L'équation dynamique de la porte est établie à l'aide du principe fondamental de la dynamique :

$$F_{tot}(t) = M_p \frac{dv_p(t)}{dt} + b_t v_p(t) \quad (6)$$

L'obstacle est modélisé par une raideur de la façon suivante :

$$F_{obst}(t) = K_o(P_o(t) - P_p(t)) \quad (7)$$

La condition de validité de l'équation (7) dépend du sens de déplacement de l'ouvrant.

– Si la porte se ferme l'équation (7) devient :

$$\begin{cases} si P_p(t) \geq P_o(t), F_{obst}(t) = 0 \\ sinon, F_{obst}(t) = K_o(P_o(t) - P_p(t)) \end{cases} \quad (8)$$

– Si la porte s'ouvre l'équation (7) devient :

$$\begin{cases} si P_p(t) \leq P_o(t), F_{obst}(t) = 0 \\ sinon, F_{obst}(t) = K_o(P_o(t) - P_p(t)) \end{cases} \quad (9)$$

Finalement :

$$F_{tot}(t) = F_{PLC}(t) + F_{obst}(t) \quad (10)$$

B. Commande en vitesse de l'ouvrant.

Le modèle utilisé pour synthétiser le régulateur a été écrit à partir du modèle sans obstacle défini dans le paragraphe II-A.2. De plus, l'hypothèse 1 est utilisée pour simplifier encore le modèle. La variable d'entrée est U (la tension d'alimentation du moteur électrique) et la variable de sortie est ω (la vitesse de rotation du moteur électrique).

Hypothèse 1: La dynamique électrique du moteur à courant continu est négligeable devant sa dynamique mécanique, en supposant l'équilibre électrique instantanément atteint.

Dans notre cas la constante de temps électrique est supérieure de plus de 2500 fois à la constante de temps mécanique.

La fonction de transfert est alors définie par :

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_c M_p p^2 + K_c b_t p + K_c N_c}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0} \quad (11)$$

avec :

$$\begin{cases} a_3 = r J M_p \\ a_2 = r(J b_t + M_p M_f) + K_c K_e M_p \\ a_1 = r(J N_c + M_f b_t + k_r^2 N_c M_p) \\ \quad + K_c K_e b_t \\ a_0 = r M_f N_c + K_c K_e N_c \\ \quad + r k_r^2 N_c b_t \end{cases} \quad (12)$$

Un régulateur PI est synthétisé, dans le domaine fréquentiel, pour asservir la vitesse de rotation du moteur électrique, afin de garantir les temps d'ouverture et fermeture de la porte et par là le confort de l'utilisateur. Dans les expériences suivantes, le régulateur a été conçu afin d'avoir une marge de phase de 50° en boucle ouverte et une pulsation au gain unité de 0.1 rad.s⁻¹.

III. LES MÉTHODES DE DÉTECTION

A. La détection de référence - le Time-Out.

A.1 Le principe

Ce principe de détection est basé sur l'exploitation du signal fourni par le capteur à impulsions⁴ généralement utilisé pour mesurer la vitesse de rotation du moteur actionnant l'ouvrant. Les variations de délais entre impulsions successives sont en effet symptomatiques de variations de

⁴Nous décrivons comme capteur à impulsions, tout capteur donnant une impulsion tous les $\alpha = \frac{1}{N}$ tour moteur, $0 < \alpha \leq 1$, $N \in \mathbb{N}_+^*$.

la vitesse. Différentes méthodes sont basées sur cette approche, telles que celles définies dans [6], [7] et [8].

A chaque impulsion du capteur, l'objectif est de prédire l'instant d'occurrence de la prochaine impulsion ou, ce qui est équivalent, le temps entre les deux impulsions. Ce temps entre deux impulsions est représentatif de la vitesse entre ces impulsions.

La valeur prédite correspond au comportement "normal", la valeur réelle au comportement effectif. Si la valeur réelle est supérieure à la valeur prédite, l'ouvrant a été ralenti et donc le déplacement de l'ouvrant est perturbé.

L'enjeu est donc de prédire au mieux le temps qui doit s'écouler avant la prochaine impulsion.

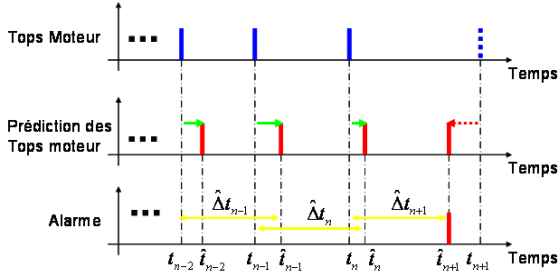


Fig. 3

GRAPHIQUE DU FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL DU TIME-OUT.

Sur l'exemple de la figure 3, les tops du moteur apparaissent en bleu ; ce sont les instants où le capteur délivre un top. En rouge, ce sont les prédictions des tops moteurs. La prédiction \hat{t}_n de t_n étant calculée à l'instant t_{n-1} , par la suite, la valeur $\hat{\Delta t}_n$ sera régulièrement utilisée. Cette valeur correspond à $\hat{t}_n - t_{n-1}$, et est la prédiction relative de la prochaine occurrence. Dans les trois premiers cas, t_{n-2} , t_{n-1} , t_n , le top réel arrive avant la prédiction. Dans ces conditions, il n'y a pas d'erreur. Par contre, la prédiction \hat{t}_{n+1} arrive avant le top du moteur. Ce qui signifie que le système a subi un fort ralentissement, une alarme est alors activée.

Par la suite, tous les blocs et tous les signaux sont échantillonnés à la période t_e . L'information « Top moteur » est elle aussi cadencée à t_e , le signal de « Top moteur » est répercuté lors de la première période d'échantillonnage suivant l'apparition réelle du top.

La figure 4 décrit le schéma de principe général de la détection par Time-Out. Au départ, un *Estimateur* est activé sur les tops du moteur et il exploite un certain nombre d'entrées complémentaires dépendant du principe d'estimation choisi, afin de prédire au mieux l'occurrence du top moteur suivant. Il délivre son estimation sous la forme de sa sortie aux instants où il est activé. Ensuite, il y a le *Compteur* qui implémente le décompte du temps et dont la sortie exprime à chaque instant d'échantillonnage le temps estimé avant le prochain top qui va servir à la prise de décision dans le dernier bloc. Le bloc *Décision* délivre quant à lui l'information *Alarme*.

A.2 Le compteur

Le compteur est réinitialisé tous les tops moteur à la valeur *Init_compteur* et il subit une décroissance linéaire

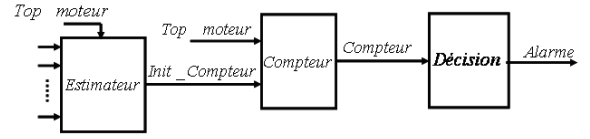


Fig. 4

SCHÉMA DE PRINCIPE GÉNÉRAL DU TIME-OUT.

entre chaque top.

Pour avoir un décrétement unitaire à chaque instant d'échantillonnage, le compteur est initialisé à l'instant t_n à la valeur $\frac{\hat{\Delta t}_{n+1}}{t_e}$, t_e étant la période d'échantillonnage.

A.3 La décision

La décision consiste à activer l'alarme si et seulement si :

$$\Delta t_{n+1} > \hat{\Delta t}_{n+1} \quad (13)$$

Ce principe est implémenté par la génération de l'alarme lorsque $compteur < 0$.

A.4 L'estimateur

Voici le principe de fonctionnement de l'estimateur :

$$\hat{\Delta t}_{n+1} = \Delta t_n + aU(t_n) + b \quad (14)$$

Le délai inter top précédent, est corrigé avec une fonction affine dépendante de la commande et prenant en compte une marge de sécurité. Ces paramètres sont réglés de manière expérimentale en respectant les contraintes métier (15) et (16) :

$$b > |a|U_{max} \quad (15)$$

U_{max} étant la tension d'alimentation maximum du moteur électrique.

$$a < 0 \quad (16)$$

B. Reconstruction de l'effort résiduel par les erreurs d'asservissements

L'effort résiduel est l'effort de réaction supplémentaire subi par l'actionneur lorsqu'un obstacle vient entraver la course de l'ouvrant piloté. Il est qualifié ainsi, dans la mesure où la perturbation qu'il engendre, subsiste quelques instants malgré les asservissements mis en oeuvre. L'asservissement est réglé pour compenser les seules perturbations nominales (efforts de réaction de l'ouvrant sans obstacle).

En plus des équations décrites dans le paragraphe II, le couple résistif est défini par l'équation (17). Celui-ci distingue un terme nominal issu de la charge (l'ouvrant) et un terme complémentaire issu de l'obstacle potentiellement présent. Toutes les variables utilisées dans les équations sont définies dans le Tableau I.

$$C(t) = C_{charge}(t) + C_{obstacle}(t) \quad (17)$$

Dans un premier temps, la vitesse de rotation du moteur est considérée comme asservie.

$$\epsilon_\omega(t) = \omega_{ref}(t) - \omega(t) \quad (18)$$

$\epsilon_\omega(t)$ étant l'erreur d'asservissement.
L'équation (1) peut alors s'écrire :

$$U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + ri(t) + K_e (\omega_{ref}(t) - \epsilon_\omega(t)) \quad (19)$$

De même que l'équation (2) devient :

$$C_{Charge}(t) + C_{Obstacle}(t) + K_c i(t) = J \frac{d(\omega_{ref}(t) - \epsilon_\omega(t))}{dt} + M_f (\omega_{ref}(t) - \epsilon_\omega(t)) \quad (20)$$

En utilisant l'hypothèse 1, l'équation (20) devient :

$$C_{Charge}(t) + C_{Obstacle}(t) = J \frac{d(\omega_{ref}(t) - \epsilon_\omega(t))}{dt} + (M_f + \frac{K_c K_e}{r}) (\omega_{ref}(t) - \epsilon_\omega(t)) - \frac{K_c}{r} U(t) \quad (21)$$

Hypothèse 2: L'erreur d'asservissement est nulle en l'absence d'obstacle.

Si, l'hypothèse 2 est prise en compte, cela revient à admettre que les perturbations induites par la charge nominale du moteur sont parfaitement compensées par le correcteur :

$$C_{Charge}(t) = J \frac{d\omega_{ref}(t)}{dt} + (M_f + \frac{K_c K_e}{r}) \omega_{ref}(t) - \frac{K_c}{r} U(t) \quad (22)$$

D'où, il résulte par simple soustraction membre-à-membre :

$$C_{Obstacle}(t) = -J \frac{d\epsilon_\omega(t)}{dt} - (M_f + \frac{K_c K_e}{r}) \epsilon_\omega(t) \quad (23)$$

Si il y a un asservissement en cascade de la vitesse et du courant, comme c'est souvent le cas sur des moteurs électriques à courant continu, alors le couple de réaction exercé par l'obstacle sur le moteur peut être exprimé sous la forme suivante :

$$C_{Obstacle}(t) = -J \frac{d\epsilon_\omega(t)}{dt} - M_f \epsilon_\omega(t) + K_c \epsilon_i(t) \quad (24)$$

Avec $\epsilon_i(t)$ l'erreur d'asservissement de courant.

La force de réaction de l'obstacle se déduit quant à elle du couple précédent à partir du rapport de réduction qui existe entre le moteur et les câbles, kr , et du rendement du moto-réducteur, η :

$$F_{Obstacle}(t) = \frac{1}{\eta k_r} C_{Obstacle}(t) \quad (25)$$

Comme une dérivée du signal d'erreur intervient dans l'expression du couple, il est nécessaire de filtrer (au moins par un passe-bas) le signal final afin d'adoucir l'estimation de l'effort. Ici sont utilisés à la fois un passe-bas et un passe-haut :

$$\hat{F}_{Obstacle}(p) = \frac{1}{1 + \tau_b p} \frac{\tau_h p}{1 + \tau_h p} F_{Obstacle}(p) \quad (26)$$

avec les constantes $\tau_b = 10ms$ et $\tau_h = 5s$ permettant de fenêtrer l'observation sur $[0,2; 100Hz]$.

La détection s'effectue ensuite par comparaison entre la reconstruction de l'effort et des seuils fixés en fonction du sens de déplacement. Les limitations imposées par les normes seront judicieusement employées pour calibrer ces seuils⁵. Les seuils serviront aussi à compenser les erreurs d'asservissement non liées à la présence d'obstacle.

IV. RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES

A. Protocole d'expérience

Tout d'abord, pour s'assurer que les algorithmes fonctionnaient correctement, une première expérience avec les paramètres nominaux du modèle complet a été menée. Puis par la suite, la variation de 11 paramètres du modèle complet a permis l'analyse de la robustesse des deux principes de détection.

Chaque simulation se déroule de la manière suivante : la porte est fermée, puis sur une demande utilisateur, elle s'ouvre complètement, sur une nouvelle demande utilisateur, elle se referme, l'obstacle apparaît alors dans les 10 derniers centimètres.

B. Calibrations

Les paramètres du régulateur de vitesse sont ceux décrits dans II-B. De plus, il n'y a pas de régulation en cascade, donc l'équation retenue pour la détection par reconstruction de l'effort résiduel est l'équation (23).

La calibration de la détection par Time-Out est l'aboutissement de multiples essais. La mise au point est longue et fastidieuse car elle nécessite un affinage au fur et à mesure de l'analyse des essais. En effet, certains paramètres influencent ponctuellement la vitesse de l'ouvrant, il peut survenir des phases d'accélération ou de décélération en fonction de la position de la porte. Il est alors délicat de trouver un réglage robuste de la méthode de détection de référence.

La calibration de la méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel est plus simple, car elle comporte moins de degré de libertés. En effet, la détection s'effectue par rapport à un seuil. Ce paramètre est réglé en fonction de la norme à respecter. De plus, les paramètres nominaux du modèle, nécessaires au fonctionnement de la méthode, sont connus par les services de conception mécanique.

Pour la calibration, il semble déjà que la méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel requière une mise au point moins délicate que la méthode de référence.

C. Simulation dans le cas nominal

La figure 5 compare les deux méthodes de détections pour la configuration nominale.

Dans cette configuration, les paramètres utilisés pour la méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel sont identiques aux paramètres du modèle complet.

La figure 5 montre que les deux méthodes de détection sont quasiment équivalentes au nominal, avec un léger

⁵Pour rappel, l'instant de détection n'est pas l'instant de l'effort maximum sur l'obstacle, il faut prendre en compte l'inertie du système.

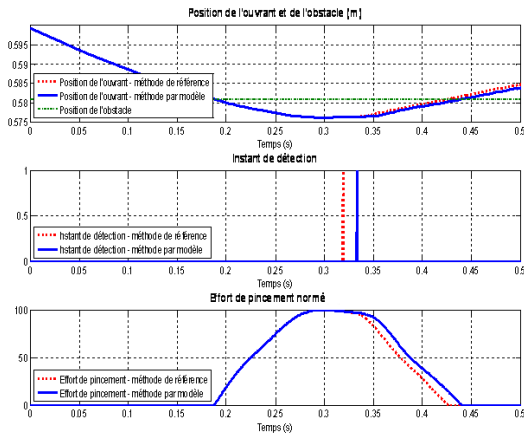


Fig. 5

COMPARAISON AU NOMINAL DE LA MÉTHODE PAR RECONSTRUCTION D'EFFORT PAR RAPPORT À LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE PAR TIME-OUT.

avantage en terme de temps de détection pour la méthode de référence (14ms).

D. Analyse de robustesse

Pour cette analyse, 11 paramètres sont variables. Les plages de variation de ces paramètres sont connues et proviennent principalement de trois dispersions.

- les dispersions des composants, les paramètres internes du moteur électrique, ...
- les dispersions de fabrication, géométrie de l'ouvrant, raideur des joints, ...
- les dispersions de montage, positionnement des joints, positionnement des câbles,

Il convient de rajouter à ceux-ci une raideur et une position d'obstacle non figées.

Les paramètres utilisés pour la méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel ne varient pas et sont identiques aux paramètres nominaux.

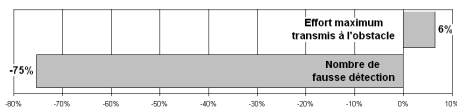


Fig. 6

COMPARAISON DE LA ROBUSTESSE DE LA MÉTHODE PAR RECONSTRUCTION D'EFFORT PAR RAPPORT À LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE PAR TIME-OUT.

Après un millier de tirs, les résultats sont présentés sur la figure 6, en considérant les résultats de la méthode de détection de référence comme étant la norme, la comparaison s'effectuant alors entre la référence et la méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel.

La méthode de détection par reconstruction de l'effort résiduel est donc intéressante car elle permet d'avoir un nombre réduit de fausses détections(-75%), tout en n'augmentant que très légèrement l'effort maximum sur l'obstacle(+6%), il n'y a pas de non détection avec les deux

méthodes. L'intérêt supplémentaire de cette méthode réside dans la phase de calibration, IV-B.

V. CONCLUSION

Cette étude présente deux méthodes de détection d'obstacle pour un ouvrant motorisé. La première est la méthode de référence basée sur une étude de la vitesse de rotation du moteur électrique entraînant une prédiction de la vitesse future. La seconde est basée sur la modélisation de l'ouvrant et la reconstruction de l'effort de pincement. Il a été développé dans le cas particulier de la porte latérale coulissante motorisée, avec tout d'abord une description de sa modélisation, puis une adaptation des méthodes de détections à cet ouvrant. Les résultats des différentes simulations montrent que la méthode basée sur une connaissance physique du système apporte un réel gain en terme de qualité de la détection, en particulier en terme de robustesse des non détections vis-à-vis des variations de paramètres physiques. De plus, sa mise au point est plus simple. Par contre, elle pénalise légèrement l'effort maximum transmis à l'obstacle en cas de choc.

Par la suite, nous nous attacherons à diminuer l'effort maximum transmis à l'obstacle par une meilleur calibration. Enfin, nous réaliserons une validation finale sur un moyen physique pour valider l'ensemble des travaux. Le modèle complet servant à la simulation étant déjà validé, ce dernier test ne devrait pas présenter de difficultés. D'un point de vue théorique, nous étudierons l'impact de l'asservissement de l'ouvrant sur la détection de l'obstacle. En fonction des résultats de l'étude précédente, il sera sans doute intéressant d'envisager la synthèse de lois de commande robuste pour remplacer le régulateur PI.

RÉFÉRENCES

- [1] Mathias SOLLMANN, Guido SCHURR, Deirdre DUFFY-BAUMGAERTNER et Christian HUCK : Anti Pinch Protection for Power Operated Features. *SAE Word Congress and Exhibition*, 2004.
- [2] Markus G. KLIFFEN et AL. : Obstacle Detection for Power Operated Window-Lift and Sunroof Actuation Systems. *SAE Word Congress*, 2001.
- [3] Thierry CAUSSAT et Jon EVERHART : Safety with Convenience : Applying Low Cost Obstacle Detection Technology to Powered Closure Systems with Express Motion. *SAE Word Congress and Exhibition*, 2005.
- [4] Hye-Jin LEE, Won-Sang RAN, Tae-Sung YOON et Jin-Bae PARK : Practical pinch torque detection algorithm for anti-pinch window control system application. Korea, juin 2005. ICCAS.
- [5] Won-Sang RAN, Hye-Jin LEE, Jin-Bae PARK et Tae-Sung YOON : Practical pinch detection algorithm for smart automotive power window control systems. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, pages 1376–1384, march 2008.
- [6] Roger Joseph COOK et AL. : System and method for controlling vehicle sliding door. Patent Pending, jan 1998. US 5 708 338.
- [7] Honma CHIAKI et AL. : Opening and closing body control device. Patent Pending, aug 2005. EP 1 566 510.
- [8] Taizo KIKUCHI et AL. : Method for controlling automotive sliding doors. Patent Pending, juin 1999. US 6 208 102.
- [9] Shintaro SUZUKI, Ryouichi FUKUMOTO, Masao OHASHI et Yamada KATSUHISA : Development of Power Sliding Door (PSD) System with Push-Pull Cable Driving Method. *SAE Word Congress*, 2000.
- [10] Atilla YAZMAN et Franck GUILLEMARD : *La méthodologie pour la conception des ouvrants motorisés : intérêt du modèle mécatronique*. CTI - Portes Automobiles et Systèmes Ouvrants, apr 2006.