Robotisation du désherbage mécanique des vignes

Corrigé UPSTI

https://vitibot.fr/img/bakus-vigne.jpg

1 Génération des consignes d'orientation des roues avant et arrière pour le guidage du robot Bakus

- Objectif

Élaborer les lois permettant de générer les consignes d'orientation à envoyer à chacune des quatre roues orientables du robot, afin qu'il puisse se déplacer le long d'un rang de vigne avec la même précision qu'un tracteur piloté par un chauffeur.

1.1 Changement de variables $(y_{G_2}, \theta) \rightarrow (y_F, y_R)$

- Objectif

Simplifier l'approche du problème d'asservissement du couple de variables (y_{G_2}, θ) au point de fonctionnement $(0, 0)$ à l'aide d'un changement de variables approprié.

Question 1 À partir de la figure A uniquement :

- déterminer les expressions linéarisées à l'ordre 1 de y_F et y_R, notées respectivement (E1) et (E2) en fonction de y_{G_2}, θ et L puis en déduire l'expression de θ en fonction de y_F, y_R et L notée (E3) ;
- déduire de ces résultats que chercher à asservir le couple de variables (y_{G_2}, θ) au point de fonctionnement $(0, 0)$ est équivalent à asservir (y_F, y_R) au même point de fonctionnement.

Expression (E1)

En se plaçant dans le quadrilatère $FF_0G_0G_2$, on a $\overrightarrow{FF_0} + \overrightarrow{F_0G_0} + \overrightarrow{G_0G_2} + \overrightarrow{G_2F} = \overrightarrow{0}$.

Tout d'abord, on a $\overrightarrow{G_0F_0} = L\cos\theta\overrightarrow{x_0}$. On a alors : $y_F\overrightarrow{y_0} - L\cos\theta\overrightarrow{x_0} - y_{G_2}\overrightarrow{y_0} + L\overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{0}$.

On demande d'exprimer y_F ; donc on projette cette expression suivant $\overrightarrow{y_0}$. On obtient donc $y_F - y_{G_2} + L\overrightarrow{x_2}\cdot\overrightarrow{y_0} = 0$ soit $y_F - y_{G_2} + L\sin\theta = 0$ et $y_F - y_{G_2} + L\theta = 0$ (E1).

Expression (E2)

En se plaçant dans le quadrilatère $G_2G_0R_0R$, on a $\overrightarrow{G_2G_0} + \overrightarrow{G_0R_0} + \overrightarrow{R_0R} + \overrightarrow{RG_2} = \overrightarrow{0}$.

On a de même $\overrightarrow{R_0G_0} = L\cos\theta\overrightarrow{x_0}$. On a alors : $y_{G_2}\overrightarrow{y_0} - L\cos\theta\overrightarrow{x_0} - y_R\overrightarrow{y_0} + L\overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{0}$.

On demande d'exprimer y_R ; donc on projette cette expression suivant $\overrightarrow{y_0}$. On obtient donc $y_{G_2} - y_R + L\overrightarrow{x_2}\cdot\overrightarrow{y_0} = 0$ soit $y_{G_2} - y_R + L\sin\theta = 0$ et $y_{G_2} - y_R + L\theta = 0$ (E2).

Ou alors par définition :

- $y_F = \overrightarrow{OF}\cdot\overrightarrow{y}_0 = \left(\overrightarrow{OG_2} + \overrightarrow{G_2F}\right)\cdot\overrightarrow{y}_0$.
  On obtient alors :
  $y_F = y_{G_2} + L\overrightarrow{x}_2\cdot\overrightarrow{y}_0 = y_{G_2} + L\sin\theta$ (E1)
- $y_R = \overrightarrow{OR}\cdot\overrightarrow{y}_0 = \left(\overrightarrow{OG_2} + \overrightarrow{G_2R}\right)\cdot\overrightarrow{y}_0$.
  On obtient alors :
  $y_R = y_{G_2} - L\overrightarrow{x}_2\cdot\overrightarrow{y}_0 = y_{G_2} - L\sin\theta$ (E2)

Expression (E3)

On a d'une part $y_{G_2} = y_F + L\theta$ (E1) et d'autre part $y_{G_2} = y_R - L\theta$ (E2). En conséquence, $y_F + L\theta = y_R - L\theta$ soit $\theta = \dfrac{y_R - y_F}{2L}$ (E3).

Bilan

Autour du point de fonctionnement en linéarisant les relations géométriques on obtient un système linéaire de deux équations. On a alors 2 relations indépendantes (E1) et (E2) pour 4 paramètres. Il y a donc deux mobilités. On peut donc choisir de piloter ou d'imposer deux couples paramètres au choix par exemple (y_{G_2}, θ) ou (y_F, y_R).

Au point de fonctionnement $(0, 0)$, piloter un couple de variables (y_{G_2}, θ) permet de piloter de façon unique un couple (y_F, y_R). Réciproquement, piloter un couple de variables (y_F, y_R) permet de piloter de façon unique un couple (y_{G_2}, θ) – *CQFD*.

1.2 Modélisation cinématique étendue du robot

– Objectif

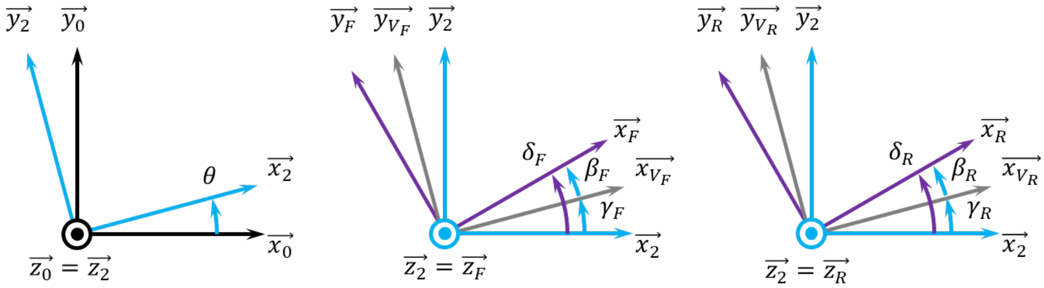
Établir un modèle exploitable décrivant les déplacements du robot Bakus sur le sol naturel, c'est-à-dire en tenant compte d'un éventuel glissement des roues sur le sol lorsqu'il est en dévers (phénomène de dérive latérale et angulaire).

1.2.1 Notations et hypothèses

1.2.2 Mise en équation du modèle cinématique étendu du robot Bakus

Question 2 À partir de la figure A, déterminer les relations donnant les expressions de :

- $\dot{y}_F$ et $\dot{y}_R$ en fonction de V_F, V_R, θ, δ_F, δ_R, β_F et β_R ;
- $\dot{x}_{G_2}$ en fonction de V_{G_2}, γ_{G_2} et θ.



Expression de $\dot{y}_F$

On a $\overrightarrow{V_{2/0}}(F) = \overrightarrow{V}_F = \dot{x}_F \overrightarrow{x_0} + \dot{y}_F \overrightarrow{y_0}$ (problème plan). Par ailleurs, en projetant $\overrightarrow{V}_F$ dans la base $\mathcal{B}_0$, on a $\overrightarrow{V}_F = V_F \overrightarrow{x_{V_F}} = V_F \left(\cos\left(\gamma_F + \theta\right) \overrightarrow{x_0} + \sin\left(\gamma_F + \theta\right) \overrightarrow{y_0}\right)$. Enfin, $\delta_F = \gamma_F + \beta_F \Leftrightarrow \gamma_F = \delta_F - \beta_F$. En projetant $\overrightarrow{V_{2/0}}(F)$ sur $\overrightarrow{y_0}$ on a $V_F \sin\left(\delta_F - \beta_F + \theta\right) = \dot{y}_F$.

Expression de $\dot{y}_R$

De manière analogue, on a $V_R \sin\left(\delta_R - \beta_R + \theta\right) = \dot{y}_R$.

Expression de $\dot{x}_{G_2}$

On a $\overrightarrow{V_{2/0}}(G_2) = \overrightarrow{V}_G = \dot{x}_{G_2} \overrightarrow{x_0} + \dot{y}_{G_2} \overrightarrow{y_0}$. Par ailleurs, en projetant $\overrightarrow{V}_{G_2}$ dans la base $\mathcal{B}_0$, on a $\overrightarrow{V}_{G_2} = V_{G_2} \overrightarrow{x_{V_{G_2}}} = V_{G_2} \left(\cos\left(\gamma_{G_2} + \theta\right) \overrightarrow{x_0} + \sin\left(\gamma_{G_2} + \theta\right) \overrightarrow{y_0}\right)$. En projetant $\overrightarrow{V_{2/0}}(G_2)$ sur $\overrightarrow{x_0}$ on a $V_{G_2} \cos\left(\gamma_{G_2} + \theta\right) = \dot{x}_{G_2}$.

Question 3 Montrer rigoureusement que que $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{V}_F \cdot \overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{V}_R \cdot \overrightarrow{x_2}$. En déduire une relation entre V_{G_2}, γ_{G_2}, V_F, γ_F, V_R et γ_R.

On a $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\overrightarrow{V}_{I_{20}} + \overrightarrow{G_2 I_{20}} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2}$. $\overrightarrow{V}_{I_{20}} = \overrightarrow{0}$; donc $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\left(\rho \overrightarrow{y_2} - (h+L)\overrightarrow{x_2}\right) \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2}$. $\left(\overrightarrow{x_2} \wedge \overrightarrow{u}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = 0$; donc $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\rho \overrightarrow{y_2} \wedge \dot{\theta} \overrightarrow{z_2}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \rho\dot{\theta}$.

De même, $\overrightarrow{V}_F \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\overrightarrow{V}_{I_{20}} + \overrightarrow{F I_{20}} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\left(\rho \overrightarrow{y_2} - (h+2L)\overrightarrow{x_2}\right) \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\rho \overrightarrow{y_2} \wedge \dot{\theta} \overrightarrow{z_2}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \rho\dot{\theta}$.

Enfin, $\overrightarrow{V}_R \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\overrightarrow{V}_{I_{20}} + \overrightarrow{R I_{20}} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\left(\rho \overrightarrow{y_2} - h\overrightarrow{x_2}\right) \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/0}}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \left(\rho \overrightarrow{y_2} \wedge \dot{\theta} \overrightarrow{z_2}\right) \cdot \overrightarrow{x_2} = \rho\dot{\theta}$.

On a donc $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{V}_F \cdot \overrightarrow{x_2} = \overrightarrow{V}_R \cdot \overrightarrow{x_2} = \rho\dot{\theta}$.

Par ailleurs :

- $\overrightarrow{V}_{G_2} \cdot \overrightarrow{x_2} = V_{G_2} \overrightarrow{x_{V_{G_2}}} \cdot \overrightarrow{x_2} = V_{G_2} \cos\gamma_{G_2}$;
- $\overrightarrow{V}_F \cdot \overrightarrow{x_2} = V_F \overrightarrow{x_{V_F}} \cdot \overrightarrow{x_2} = V_F \cos\gamma_F$;
- $\overrightarrow{V}_R \cdot \overrightarrow{x_2} = V_R \overrightarrow{x_{V_R}} \cdot \overrightarrow{x_2} = V_R \cos\gamma_R$.

On a donc $V_{G_2} \cos\gamma_{G_2} = V_F \cos\gamma_F = V_R \cos\gamma_R$.

Question 4 À partir du résultat obtenu à la question 3, donner les expressions de V_F et V_R en fonction de V_{G_2}, δ_F, β_F, δ_R et β_R.

A FINIR !!

On a $V_F = V_{G_2} \dfrac{\cos\gamma_{G_2}}{\cos\gamma_F} = V_{G_2} \dfrac{\cos\gamma_{G_2}}{\cos\left(\delta_F - \beta_F\right)}$.

De même, $V_R = V_{G_2} \dfrac{\cos\gamma_{G_2}}{\cos\gamma_R} = V_{G_2} \dfrac{\cos\gamma_{G_2}}{\cos\left(\delta_R - \beta_R\right)}$.

1.3 Mesure en estimation des variables du modèle cinématique étendu

- Objectif

Donner les moyens au robot de mesurer ou, à défaut, d'estimer les valeurs des variables δ_F, δ_R, y_{G_2}, θ, $\dot{y}_F$ et $\dot{y}_R$ et V_{G_2} du modèle cinématique étendu.

1.3.1 Variables mesurées directement par des capteurs dédiés

Question 5 Compte-tenu du contexte d'utilisation du robot, justifier l'intérêt d'avoir choisi des codeurs absolus plutôt que relatifs (incrémentaux) pour obtenir les valeurs mesurées de δ_F et δ_R.

A FAIRE

1.3.2 Variables estimées par analyse d'images des huit caméras TOF du robot

Question 6 À partir des équations (I.2) et (I.3), donner l'expression des variables estimées $\hat{\beta}_F$ et $\hat{\beta}_R$ en fonction des variables mesurées $\dot{y}_F$, $\dot{y}_R$, V_{G_2}, θ, δ_F et δ_R.

On a $\dot{y}_F = V_{G_2}(\theta + \delta_F - \beta_F)$ et $\dot{y}_R = V_{G_2}(\theta + \delta_R - \beta_R)$. Par conséquent, $\hat{\beta}_F = \theta + \delta_F - \dfrac{\dot{y}_F}{V_{G_2}}$ et $\hat{\beta}_R = \theta + \delta_R - \dfrac{\dot{y}_R}{V_{G_2}}$.

1.4 Génération des consignes d'orientation des roues (δ_F^*, δ_R^*) pour l'asservissement latéral et angulaire du robot enjambeur le long d'un rang de vigne

- Objectif

Établir les lois de génération de consigne de l'asservissement latéral du robot Bakus pour qu'il puisse suivre avec précision la trajectoire $\mathcal{T}$, malgré un glissement éventuel des roues sur le sol naturel

1.4.1 Passage du domaine temporel au domaine spatial : $t \rightarrow x_{G_2}$

- Objectif

Rendre le modèle cinématique étendu indépendant de la vitesse linéaire V_{G_2} du robot le long d'un rang de vigne, afin de découpler la gestion des écarts latéraux y_F et y_R et celui de la vitesse d'avance V_{G_2}.

Question 7 À partir des équations (E3), (I.1), (I.2) et (I.3) établies à partir du modèle cinématique étendu de la figure A, montrer que :

$$y'_F = \theta + \delta_F - \beta_F$$
$$y'_R = \theta + \delta_R - \beta_R$$
$$\theta' = \frac{y'_F - y'_R}{2L}.$$

A FAIRE

D'après (E3), $\theta = \dfrac{y_R - y_F}{2L}$, d'après (I.1), (I.2) et (I.3), $\dot{x}_{G_2} = V_{G_2}$, $\dot{y_F} = V_{G_2}(\theta + \delta_F - \beta_F)$ et $\dot{y_R} = V_{G_2}(\theta + \delta_R - \beta_R)$.

Question 8 Intitule de la question

$\overrightarrow{\Omega_{1/2}}$, $\overrightarrow{V_{1/2}}(A)$

$\overrightarrow{R_{1\to 2}}$, $\overrightarrow{\mathcal{M}_{1\to 2}}(A)$

$\overrightarrow{R_{c\,1/2}}$, $\overrightarrow{\sigma_{1/2}}(A)$

$\overrightarrow{R_{d\,1/2}}$, $\overrightarrow{\delta_{1/2}}(A)$

$\overrightarrow{\Gamma_{1/2}}(A)$

$\mathcal{E}_{c\,(A/B)}$

$\mathcal{P}_{\left(A\overset{C}{\leftrightarrow}B\right)}$

$\mathcal{P}_{(A\to B/C)}$

Corrigé de la question... Lorem ipsum dolor sit amet consectetuer Morbi Nunc lacus vitae gravida. Morbi ridiculus non interdum nibh consequat malesuada natoque tincidunt sed neque. Interdum felis quis ut id hendrerit semper natoque nisl Cum ipsum.

Question 9

Ici on a une question sans intitulé....

Lorem ipsum dolor sit amet consectetuer Morbi Nunc lacus vitae gravida. Morbi ridiculus non interdum nibh consequat malesuada natoque tincidunt sed neque. Interdum felis quis ut id hendrerit semper natoque nisl Cum ipsum.

Question 10

Ici on a une question sans intitulé....

Lorem ipsum dolor sit amet consectetuer Morbi Nunc lacus vitae gravida. Morbi ridiculus non interdum nibh consequat malesuada natoque tincidunt sed neque. Interdum felis quis ut id hendrerit semper natoque nisl Cum ipsum.

2 Optimisation énergétique du mouvement de retrait d'une lame décavaillonneuse, choix d'un actionneur et conception de sa commande

2.1 Modélisation du mouvement des lames, tracé numérique des relations entre paramètres géométriques d'entrée et de sortie puis estimation de la puissance épargnée

Question 11 Écrire sous forme vectorielle la relation de fermeture de la chaine géométrique liée au modèle de la figure E et donner les équations scalaires associées en projection sur les vecteurs de la base B_2

La fermeture vectorielle donne $\overrightarrow{O_1A}+\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BO_3}+\overrightarrow{O_3O_1}=\overrightarrow{0}$.

En remplaçant par le paramétrage proposé :

$-l_2\overrightarrow{x}_1-l_4\overrightarrow{y}_4+l_3\overrightarrow{x}_3-a\overrightarrow{x}_2+b\overrightarrow{y}_2=\overrightarrow{0}$.

On peut alors projeter dans la base $(vectx_0, vecty_0, vectz_0)$.

$$\begin{aligned} \cdot \vec{x}_2 \Rightarrow \\ \cdot \vec{y}_2 \Rightarrow \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} & -l_2 \cos\theta_{10} + l_4 \sin\theta_{40} + l_3 \cos\theta_{30} - a = 0 \\ & -l_2 \sin\theta_{10} - l_4 \cos\theta_{40} + l_3 \sin\theta_{30} + b = 0 \end{aligned} \right.$$

Question 12 En exprimant les fonctions f_1, f_2 et f_3 en fonction des paramètres l_1, l_3, l_4, a, b, $\cos(\theta_{10})$ et $\sin(\theta_{10})$, montrer qu'il est possible d'obtenir à partir des équations de la question précédente une seule équation de la forme : $f_1(\theta_{10}) - f_2(\theta_{10})\sin(\theta_{40}) - f_3(\theta_{10})\cos(\theta_{40}) = 0$.

Il faut éliminer le paramètre θ_3 on isole ce paramètre du même côté du signe égalité et on somme les carrés des deux expressions scalaires obtenues précédemment : On obtient alors :

$$l_3^3 = (a + l_2\cos\theta_{10} - l_4\sin\theta_{40})^2 + (l_2\sin\theta_{10} + l_4\cos\theta_{40} - b)^2$$
$$\Leftrightarrow$$

$$-l_3^2 + a^2 + b^2 + l_2^2 + l_4^2 + 2a \cdot l_2\cos\theta_{10} - 2b \cdot l_2\sin\theta_{10} + \sin\theta_{40}\left[-2l_4\left(l_2\cos\theta_{10} + a\right)\right] + \cos\theta_{40}\left[2l_4\left(l_2\sin\theta_{10} - b\right)\right] = 0$$

Par identification on obtient :

$$\left\{ \begin{aligned} & f_1(\theta_{10}) = -l_3^2 + a^2 + b^2 + l_2^2 + l_4^2 + 2a \cdot l_2\cos\theta_{10} - 2b \cdot l_2\sin\theta_{10} \\ & f_2(\theta_{10}) = 2l_4\left(l_2\cos\theta_{10} + a\right) \\ & f_3(\theta_{10}) = -2l_4\left(l_2\sin\theta_{10} - b\right) \end{aligned} \right.$$

Question 13 En faisant l'hypothèse que quelle que soit la position de la lame $\overrightarrow{V_{0/B}}(4) \approx V_{amax}\vec{x}_0$, exprimer sous forme littérale la puissance de l'action mécanique du sol sur l'outil dans son mouvement par rapport au sol 0 notée $P_{sol\rightarrow 4/0}$ en fonction de F_{sol}, V_{amax}, α_4 et θ_{40}. Calculer alors la variation relative de cette puissance en pour cent notée $\Delta\%P_{sol\rightarrow 4/0}$ entre la position moyenne de retrait ($\theta_{10} \approx 0,3rad$) et la position déployée de l'intercep et conclure vis-à-vis de l'objectif de cette partie ($\Delta\%P_{sol\rightarrow 4/0} > 15\%$).

$$P_{sol\rightarrow 4/0} = \{\mathcal{T}(sol \rightarrow 4)\} \otimes \{\mathcal{V}(4/0)\} = \left\{ \begin{array}{c} -F_{sol}\vec{u}_4 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B \otimes \left\{ \begin{array}{c} \dot{\theta}_{40}\vec{z}_{0,2} \\ V_{amax}\vec{x}_0 \end{array} \right\}_B$$

On obtient alors :

$$P_{sol\rightarrow 4/0} = -F_{sol}V_{amax}\vec{u}_4 \cdot \vec{x}_0 = -F_{sol}V_{amax}\cos(\theta_{40} + \alpha_4)$$

Le calcul différentiel sur $P_{sol\rightarrow 4/0}$ donne :

$$dP_{sol\rightarrow 4/0} = F_{sol}V_{amax}\sin(\theta_{40} + \alpha_4)d\theta_{40}$$

On obtient comme variation :

$$\Delta P_{sol\rightarrow 4/0} = ||F_{sol} V_{amax} \sin(\theta_{40} + \alpha_4)\Delta\theta_{40} = ||F_{sol} V_{amax} \sin(\theta_{40} + \alpha_4)\frac{theta_{40}}{\Delta_{10}}\Delta\theta_{10}$$

.