

# Examen de robotique autonome

(3h ; documents interdits)

27 novembre 2019

*Consignes* — Tous les documents sont interdits, ainsi que les ordinateurs, les téléphones, les calculatrices et tout ce genre de choses. L'examen est prévu pour être réalisé en moins de 2h mais vous pouvez prendre jusqu'à 3h (le temps ne rentre pas dans l'évaluation). Pour les réponses rédigées, il est attendu une réponse claire, structurée et synthétique ; ainsi je vous conseille de prendre le temps (vous l'avez) de construire votre réponse au brouillon. Le sujet est en français mais vous pouvez répondre en anglais si vous y êtes plus à l'aise.

Ce sujet comporte trois (3) pages et trois (3) exercices.

## Exercice 1 : Interaction Homme-Robot

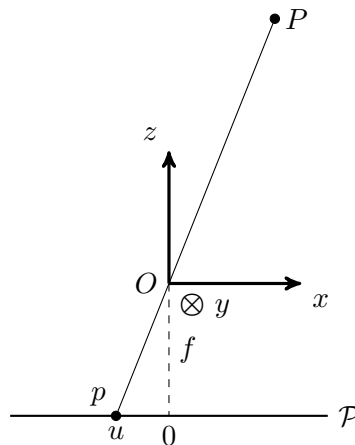
1. Quelles sont les thématiques principales d'interaction homme-robot ?
2. Quels sont les différents types de robots avec lesquels faire de l'interaction physique ? Citez, pour chacun, un cas d'utilisation.

## Exercice 2 : Stéréovision

### 2.a : Modèle sténopé

Le modèle le plus simple de caméra est le modèle sténopé (*pinhole*) qui consiste en un trou de petite taille permettant d'observer une image inversée sur un plan de projection. Ce modèle ignore les problèmes de stigmatisme et de profondeur de champ mais permet de capturer les principes géométriques.

Le plan de projection  $\mathcal{P}$  est supposé situé à une distance  $f$  derrière le centre optique (trou de sténopé). On considère un point  $P$  de coordonnées  $(x, y, z)$  qui se projette sur le plan en un point  $p$  de coordonnées image  $(u, v)$ .



1. Donner l'expression de  $u$  en fonction de  $x$ ,  $z$  et  $f$ .
2. Même question pour  $v$  en fonction de  $y$ ,  $z$  et  $f$ .
3. Écrivez la matrice  $\mathbf{A}$  de projection du vecteur  $(x, y, z, 1)$  vers le vecteur  $(u, v, 1)$  telle que :

$$s \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{A} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

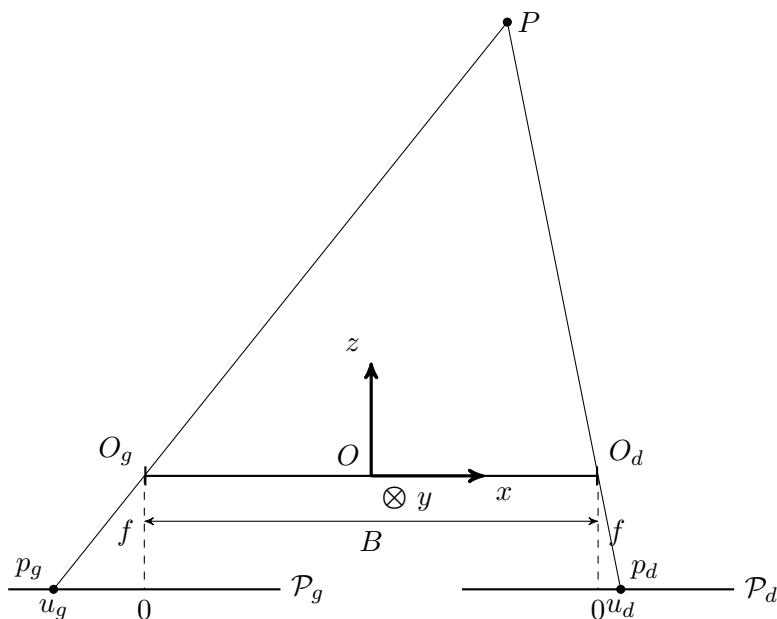
avec  $s$  un facteur de proportionnalité.

Note : Cette matrice  $\mathbf{A}$  est appelée la matrice des paramètres intrinsèques de la caméra. Ces coordonnées, dites homogènes, permettent d'obtenir des relations linéaires souvent pratiques à manipuler.

## 2.b : Stéréovision

Une paire de caméras peuvent former un système de stéréovision. Pour simplifier, nous allons considérer le cas d'une paire stéréo avec des axes optiques parallèles.

Soient deux caméras  $g$  et  $d$  disposées à une distance  $B$  l'une de l'autre. Un point  $P$  se projette maintenant respectivement en  $p_g$  et  $p_d$ .



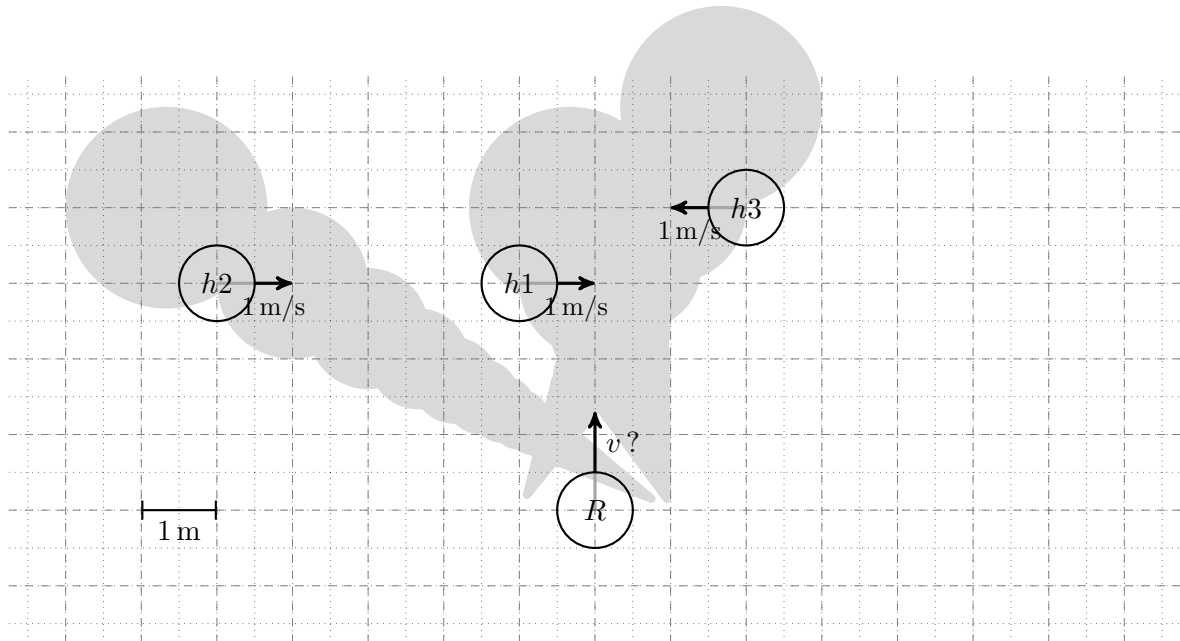
1. Réécrire les équations liant les coordonnées  $(u_g, v_g)$  et  $(u_d, v_d)$  des projections à celles  $(x, y, z)$  du point projeté.
2. Résoudre ces équations pour retrouver  $(x, y, z)$  à partir de  $(u_g, v_g)$  et  $(u_d, v_d)$ . Indiquez les conditions de validité de ces équations.
3. Exprimez  $z$  en fonction de la disparité  $d = u_d - u_g$ .
4. Calculer la norme de la dérivée de  $z$  en fonction de  $d$ . Sachant que la précision sur la disparité est bornée par la résolution, que peut-on en déduire sur l'évolution de l'incertitude sur la profondeur estimée, en fonction de la profondeur elle-même.

### Exercice 3 : *Velocity obstacles*

Soit un robot de 1 m de diamètre, dans un environnement où se déplacent des humains. Les humains sont supposés circulaires, d'un diamètre de 1 m et évoluent à la vitesse tranquille et constante de 1 m/s.

Le robot  $R$  doit traverser orthogonalement un flux de passants allant de gauche à droite puis un autre allant de droite à gauche se trouvant à une distance du robot de respectivement 3 et 4 m (voir illustration ci-dessous).

La question est d'estimer les vitesses acceptables pour le robot à l'aide de la méthode des *velocity obstacles*.



1. Dessinez, sur une même figure, le *velocity obstacle* correspondant à :
  - l'humain  $h1$  se trouvant en  $(-1, 3)$  et avançant avec un vecteur vitesse de  $(1, 0)$ ,
  - l'humain  $h2$  se trouvant en  $(-5, 3)$  et avançant avec un vecteur vitesse de  $(1, 0)$ ,
  - l'humain  $h3$  se trouvant en  $(2, 4)$  et avançant avec un vecteur vitesse de  $(-1, 0)$ .
2. Pour chacune des vitesses  $v$  proposées, indiquez si le robot serait en collision avec un humain (et si oui, lequel) ou s'il passe avant ou après chacun des humains.
  - $v = 0.25 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 0.5 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 0.75 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 1.0 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 1.5 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 2.0 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 4.0 \text{ m/s}$ ,
  - $v = 7.0 \text{ m/s}$ .