

Perception de l'environnement

Robotique et Systèmes Embarqués

Samuel Tardieu

samuel.tardieu@enst.fr

École Nationale Supérieure des Télécommunications
Institut de la Francophonie pour l'Informatique

Environnement et robotique

Un robot combine plusieurs techniques:

- perception
- sélection de l'action
- action

La perception lui permet d'acquérir des données venant de l'extérieur ou de l'intérieur (proprioception).

Perception

La perception pose plusieurs problèmes:

- acquisition de l'information
- traitement de l'information
- fusion d'informations

Chaîne de mesure

Une chaîne de mesure:

- transforme une grandeur physique x observée en grandeur d'observation y
- doit permettre de reconstruire x à partir de y
- a une marge d'erreur, déterministe ou aléatoire

Cas déterministe

- Le bruit et les erreurs aléatoires sont négligés
- Les erreurs systématiques sont corrigées
- La fonction de mesure $y = h(x)$ est surjective mais pas nécessairement injective (on peut avoir $x_1 \neq x_2$ et $h(x_1) = h(x_2)$)
- Si h est injective, la solution au problème est $x = h^{-1}(y)$

Mesure non injective

- Quand h n'est pas injective, h^{-1} représente un ensemble de points
- On appelle $C(x)$ les connaissances supplémentaires sur x
- L'estimée de x est l'ensemble $\hat{x} = C(x) \cap h^{-1}(y)$
- Si \hat{x} n'est pas vide, x est dit **observable**
- Exemple: reconstitution de forme 3D à partir d'un système de vision monoculaire lorsque la forme est connue **a priori**

Cas stochastique

- La mesure est un voisinage V_y avec $y \in V_y$
- On obtient en fait $y = h(x) + w$ où w est le bruit d'observation
- Si h est bijective, h^{-1} permet de déterminer un voisinage V_x tel que $x \in V_x$

Moindres carrés

- La méthode des **moindres carrés** consiste à minimiser une fonction coût C .
- On choisit l'ensemble \hat{x} des éléments x tel que \hat{x} minimise $C = \sum_i (y_i - h(\hat{x}))^2$

Origine des erreurs

- Mauvaise connaissance de h
- Mauvaise connaissance des autres contraintes
- Perturbation: $y = h(x, p) + w$ où p est un vecteur de perturbations

L'incertitude sur la mesure peut être représentée par une distribution de probabilité π_x .

Dimension d'un capteur

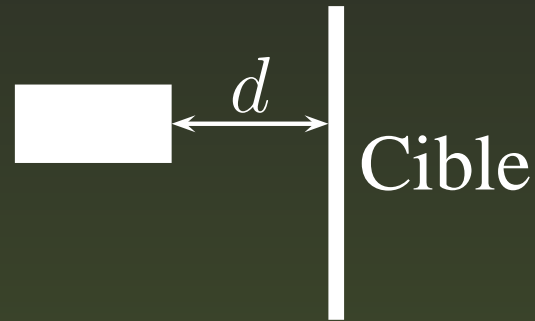
Un capteur physique est dit:

- 0D si le signal est une fonction $a(t)$ (température)
- 1D si le signal est une fonction $a(u, t)$ (capteur CCD linéaire)
- 2D si le signal est une fonction $a(u, v, t)$ (caméra classique)

Proximité

- Mesure de distances entre 1mm et 1dm
- Induction par réluctance variable (cible ferromagnétique non conductrice) et courants de Foucault (cible non ferromagnétique et conductrice)
- Induction par effets Hall et magnéto-résistifs
- Effet électrostatique (capteur capacitif)
- Optique

Exemple: proximétrie optique



Intensité réfléchie: (K dépend du matériau)

- $E = K/d^2$ pour une cible étendue
- $E = K/d^4$ pour une cible ponctuelle

Téléométrie

- Mesure de distances à partir d'1dm
- Temps de vol d'une impulsion radar (HF), lidar (IR) ou sonar (US): $t_r = 2d/v$
- Déphasage d'une onde stationnaire (IR ou HF):
 $\phi/2\pi = 2d/\lambda$
- Triangulation (IR avec système optique): mesure d'angle, $d = \frac{D}{\tan \alpha + \tan \beta}$ où D est la distance entre l'émetteur et le récepteur et α et β les angles d'émission et de réception

Relevés 1D, 2D, 3D

- Mesure d'un éclairement, d'une température, d'une absorption ou d'une distance
- Pointage
 - optique
 - mécanique
 - électronique

Exemple d'ambiguïté

- Les mesures sont ambiguës lorsque la fonction $y = h(x)$ n'est pas injective.
- Pour un télémètre à temps de vol, $d = v(t_r + kT)/2$, $k \geq 0$ lorsque T est la période entre les impulsions
- Dans l'idéal, T est choisi pour que $k = 0$ systématiquement (réflexion non mesurable à partir d'une distance $vT/2$)

Fusion d'informations

La fusion d'informations de capteurs sert:

- lorsque un capteur seul n'a pas de dynamique suffisante (proximètre et télémètre)
- lorsque plusieurs mesures peuvent augmenter la précision (signal bruité)
- lorsque des capteurs peuvent en discriminer d'autres en cas d'ambiguïté (ultrasons et infrarouge)

Exemple de fusion

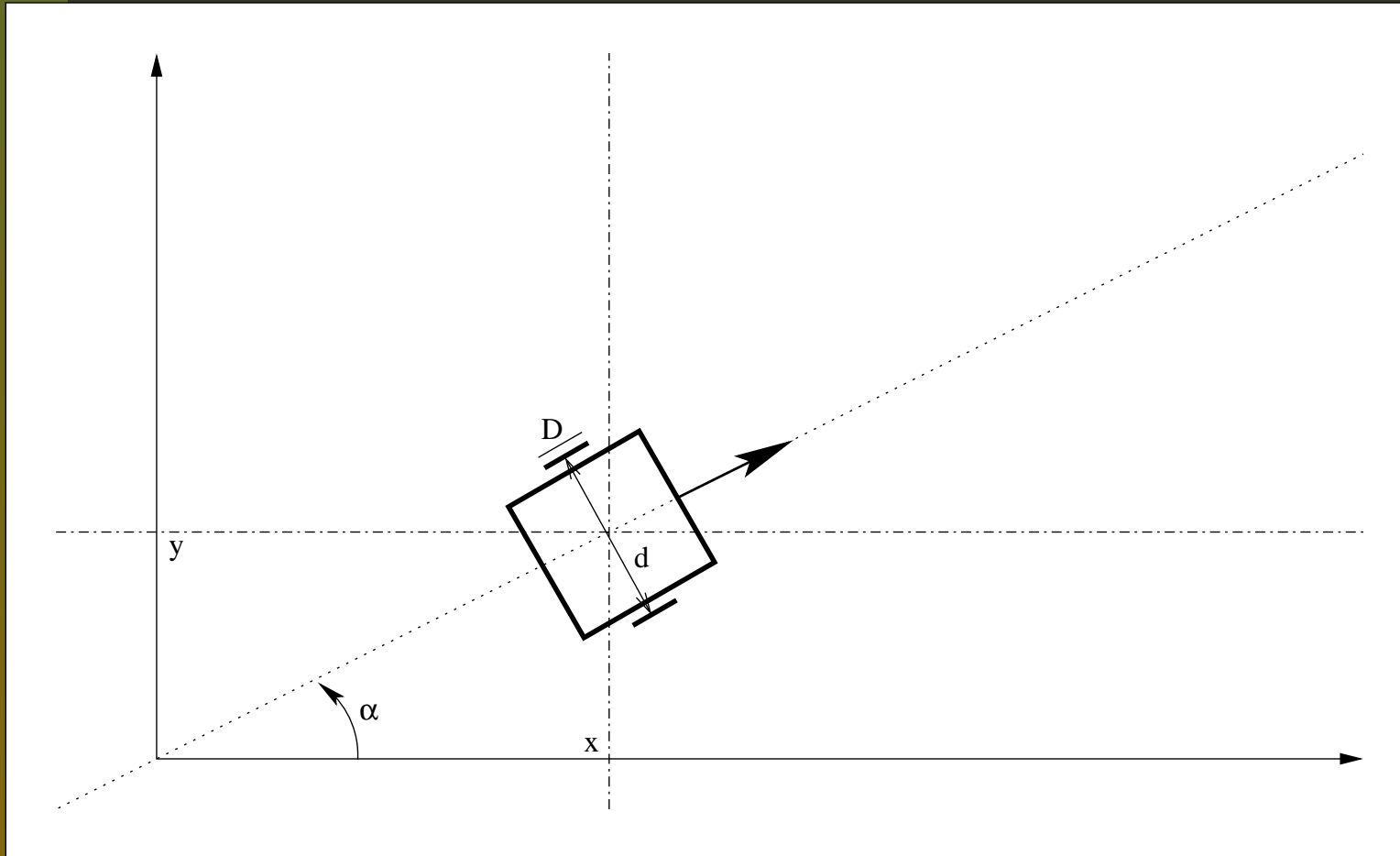
- On souhaite insérer un objet dans un trou (par le haut)
- Une première caméra repère les coordonnées (x, z)
- Une seconde caméra repère les coordonnées (y, z)
- La fusion permet de connaître (x, y, z)
- On a une information redondante sur z

Exemple de correction

Sur un robot mobile:

- des roues codeuses enregistrent le mouvement de chaque roue
- les mouvements des roues sont combinés pour calculer le déplacement
- la position est estimée en fonction de la dernière position connue
- la position est corrigée grâce à des capteurs externes

Roues codeuses



Roues codeuses (2)

- Supposons que le robot soit, au départ, en (x, y) orienté d'un angle α par rapport à l'axe $[Ox)$
- Soit N le nombre d'impulsions par tour de roue, D le diamètre des roues et d la distance entre les roues
- La distance parcourue par impulsion est $\delta = \pi D / N$
- Soient n_g et n_d le nombre d'impulsions reçues dans un intervalle de temps par les roues

Roues codeuses (3)

- Les distances parcourues par les deux roues sont $l_g = \delta n_g = \pi D \frac{n_g}{N}$ et $l_d = \delta n_d = \pi D \frac{n_d}{N}$
- La distance moyenne est $l = (l_g + l_d) / 2$
- La variation d'angle est $\beta = \arcsin \frac{l_d - l_g}{d} = \arcsin \left(\pi \frac{D}{d} \frac{n_d - n_g}{N} \right)$
- L'angle moyen est $\gamma = \alpha + \beta / 2$
- Les nouvelles coordonnées sont: $(x + l \cos \gamma, y + l \sin \gamma)$, avec un angle $\alpha + \beta$

Limitations

- β doit être compris entre $-\pi/2$ et $\pi/2$
- L'intervalle doit être le plus petit possible
- Les erreurs se cumulent

Type de correction

Soit une position estimée E et une position mesurée M .
La correction peut être:

- relative: $E \leftarrow E + k(M - E)$ (avec $k \in]0, 1[$)
- totale: $E \leftarrow M$ (équivalent à $k = 1$)
- inexistante: $E \leftarrow E$ (équivalent à $k = 0$)

Si M est une position partielle, la correction est partielle.

Capteur logique

Le capteur logique peut être imprécis:

- le capteur physique peut être mal modélisé (largeur du faisceau ultrason)
- l'effet mesuré peut être trop simplifié (reflets oubliés)
- les variations peuvent être oubliées (gradient de température, mouvements de l'air, dérapages)

Localisation

Un robot peut naviguer grâce à:

- des roues codeuses (odomètre), indépendantes ou liées aux roues
- un gyroscope, un compas
- des balises et de la triangulation (ZigBee)
- un accéléromètre, un anémomètre, un tilt
- des capteurs de contact (bumpers, moustaches)
- un GPS (en extérieur), un altimètre
- un thermomètre (pour calibrer les autres capteurs)

Moustaches



Psykharpax

- Robot « rat » en cours de construction
- Se déplace très vite
- Détecte les obstacles

Localisation: ZigBee

- Technologie IEEE 802.15.4 pour le bas débit
- Alliance d'une vingtaine de constructeurs
- Avec deux piles AA: durée de vie de 6 mois à 2 ans
- Portée: de 10 à 75 mètres
- Débit: de 20kbps à 250kbps
- Communication fiable (gestion des conflits et accusés de réception)

Bibliographie

- « Perception de l'environnement en robotique », F. Chavand et É. Colle, éditions Hermès, collection Robotique.